

ELEKTROLYT-AUSSCHEIDUNG IM HARN
IN ABHÄNGIGKEIT VON
THERMOHYGRISCHEN REIZEN
WÄHREND EINES VIERWÖCHIGEN AUFENTHALTES
IM KONTROLLIERTEN KLIMA

Peter Hebel

1976

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie
und Klimatologie der Universität München
Direktor: Prof.Dr.med.H.Drexel

Elektrolyt-Ausscheidung im Harn in Abhängigkeit
von thermohygrischen Reizen während eines vier-
wöchigen Aufenthalts im kontrollierten Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Peter Hebel
aus
München
1975

Mit Genehmigung der Universität München

Berichterstatter: Dipl.-Physiker K. Dirnagl

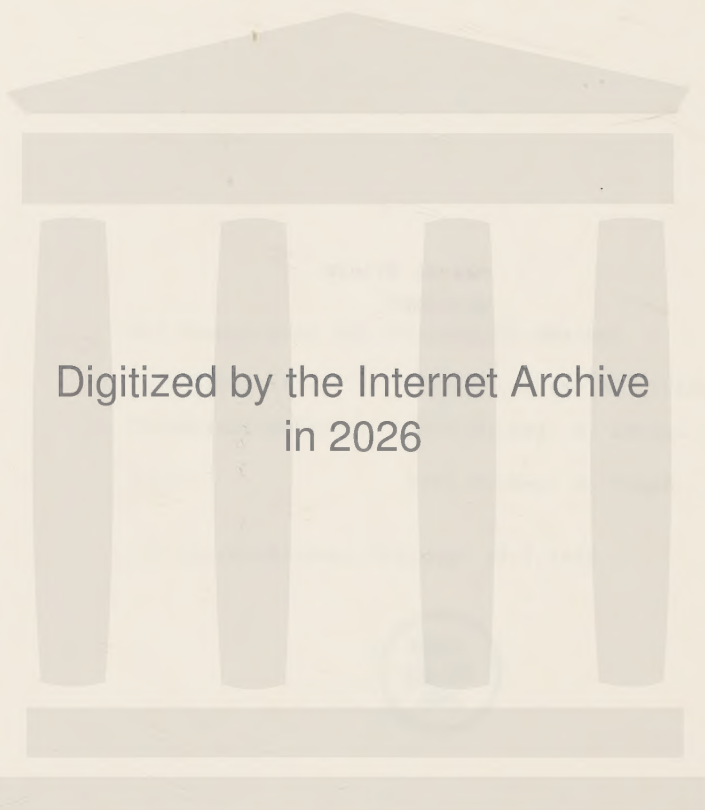
Mitberichterstatter: Prof.Dr.med. H. Drexel

Dekan: Prof.Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.1.1976



meinen Eltern
gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553812_0053

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
A. <u>EINLEITUNG</u>	1
B. <u>PROBLEMSTELLUNG</u>	3
C. <u>LITERATURÜBERSICHT</u>	4
1. Normalwerte	4
2. Regulationsmechanismen der Ausscheidung von	4
2.1. Natrium	4
2.2. Kalium	8
2.3. Calcium	9
2.4. Chlor	11
3. Tagesperiodik	12
3.1. Allgemeine Grundlagen	12
3.2. Tagesrhythmus der Elektrolyt- Ausscheidung	13
3.3. Steuerungsmechanismus	17
3.4. Beeinflussung der Periodik durch	18
3.4.1. Nahrung	18
3.4.2. Physische Aktivität	19
3.4.3. Krankheiten	20
3.4.4. Umweltfaktoren	20
4. Klimaeinfluß	22

D. <u>METHODIK</u>	24
1. Allgemeine Versuchsbedingungen	24
1.1. Versuchspersonen	24
1.2. Versuchsdauer	24
1.3. Charakteristik des Versuchs	24
1.4. Versuchsort	25
1.4.1. Bioklimaraum	25
1.4.2. Versuchsbad	27
1.5. Tagesablauf	27
1.6. Beschreibung eines Versuchs- durchgangs	27
1.7. Klimaverhältnisse	28
2. Spezielle Versuchsbedingungen	28
2.1. Behandlung der Urinproben	28
2.2. Meßtermine	29
2.3. Speisen	29
2.4. Getränke	29
3. Analytische Methodik	30
3.1. Na-Konzentration	30
3.1.1. Prinzip	30
3.1.2. Durchführung	31
3.2. K-, Ca-, Cl-Konzentration	31
3.2.1. Prinzip	31
3.2.2. Durchführung	33
4. Methode der Auswertung	33
4.1. Allgemeine Bemerkungen	33
4.2. Tagesperiodik	35
4.3. Übereinstimmung der Versuchs- personen	36
4.4. Halbquantitative Auswertung	36
4.4.1. Prinzip	36
4.4.2. Zusätzliche Bemerkungen	39

	Seite
E. <u>MESSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG</u>	41
1. Meßergebnisse	41
2. Tagesperiodik für	41
2.1. Natrium	41
2.2. Kalium	44
2.3. Calcium	47
2.4. Chlor	50
3. Übereinstimmung der Versuchspersonen	54
4. Klimaeinfluß	56
F. <u>DISKUSSION</u>	67
1. Zur Methodik	67
1.1. Versuchsbedingungen	67
1.2. Analytische Methodik	69
1.2.1. Flammenphotometrie	69
1.2.2. Röntgenfluoreszenzanalyse	71
1.3. Auswertung	74
2. Zu den Ergebnissen	79
2.1. Tagesperiodik	79
2.1.1. Tagesmittelwerte	79
2.1.2. Existenz einer Tages- periodik	79
2.1.3. Standardabweichung und Amplitude	81
2.2. Übereinstimmung der Versuchs- personen	82
2.3. Klimaeinfluß	84
G. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	90

H. ANHANG

91

1. Reizklima

91

2. Meßergebnisse

92

I. LITERATURVERZEICHNIS

100

A. EINLEITUNG

Die Existenz von Klimaeinflüssen auf den menschlichen Organismus entzieht sich infolge der Häufigkeit und Einfachheit meteorobiologischer Erfahrungen, wie z.B. der "Wetterschmerzen" bei rheumatischen oder neuritischen Erkrankungen wohl jeder Beweispflicht. Eine feste Verankerung solcher Beobachtungen in der Volksmedizin fand bereits vor mehr als 1000 Jahren in der Rechtsprechung ihren Ausdruck: Die Lex Frisonum (44)⁺ aus dem 9. Jahrhundert schreibt in der Additio sapientium § 22 vor, daß eine einem anderen zugefügte Wunde, lasse sie eine wetterempfindliche Narbe zurück, mit einer höheren Buße zu belegen sei.

Untersuchungen am Gesunden führten Hellpach (19)⁺ zu der Auffassung, das Reagieren des Menschen auf Wettervorgänge sei etwas völlig Normales und "bedeute einfach ein Stück Naturgebundenheit des Menschenwesens". Der Übergang zum Krankhaften erweise sich als Folge einer abnormen Steigerung der Reagibilität des Körpers bzw. einer Senkung der Empfindungsschwelle, deren Manifestation Begriffe wie "Wetterfühligkeit", "Witterungsneurose" oder "Meteoropathie" zu beschreiben versuchen.

Die genauere wissenschaftliche Erforschung klimatischer Einflüsse auf den menschlichen Organismus hat sich mit zwei prinzipiellen Schwierigkeiten auseinanderzusetzen: Zum einen besteht "Klima" oder "Wetter" aus einer Summe vieler verschiedener, miteinander nicht vergleichbarer Einzelercheinungen;

zum anderen benötigen objektive Aussagen vergleichbare Meßbedingungen, Meßgrößen und Versuchspersonen. Im Institut für Balneologie und Klimatologie der Universität München wurden von 1970 bis 1973 drei Langzeitstudien durchgeführt, die den genannten Problemen so gut als möglich Rechnung tragen. Die beiden ersten Versuche beschäftigten sich mit der Wirkung kontinuierlich verlaufender langsamer Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen auf verschiedene Körperfunktionen. Die Fragestellung des dritten Versuches weicht hinsichtlich der klimatischen Bedingungen grundsätzlich von den vorangegangenen ab. Dieser Versuch und ein Teilaspekt seiner Auswertung sind Gegenstand der folgenden Arbeit.

B. P R O B L E M S T E L L U N G

Mit dem Stichwort "Wirkungen kurzfristiger Klimareize auf den menschlichen Organismus" mag das Ziel des durchgeführten Versuches umrissen sein. Kurzfristige Klimareize lösten in Form von einstündigen, plötzlich auftretenden Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen ein konstantes Klima ab. Damit war ein Modell für einen häufig vorkommenden Tagesablauf geschaffen. Die Wirkungen auf den Organismus wurden durch Messungen zahlreicher physiologischer und psychologischer Parameter festgehalten. Im Rahmen des gesamten Versuches befaßte sich der Autor mit einem Teil der Meßgrößen, nämlich mit den Konzentrationen und Mengen der im Urin ausgeschiedenen Elektrolyte von Natrium, Kalium, Calcium und Chlor.

Folgende Fragen sind für die Beurteilung des Versuchesergebnisses von Interesse:

1. Existiert eine Tagesperiodik der untersuchten Meßgrößen und wie stellt sie sich, falls vorhanden, dar?
2. Wie gut stimmen die Werte der drei Versuchspersonen überein?
3. Ist ein Klimaeinfluß auf den Organismus nachweisbar? Falls vorhanden, welcher Art ist dieser und welche Parameter und Meßgrößen sind zu seiner Darstellung besonders geeignet?

C. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

1. Normalwerte

Aus den Wissenschaftlichen Tabellen (10)⁺ sind die Normalwerte der untersuchten Harnbestandteile entnommen. Sie gelten für erwachsene, männliche Personen.

Meßgröße		Mittelwert	Extrembereich	Ausscheidung durch Niere ca.
Volumen	(ml/24 h)	1015	510 - 2000	
Na	(mval/ 24 h)	177	120 - 220	90 - 95 %
	(mval/ l)	174		
K	(mval/24 h)	57	35 - 80	80 %
	(mval/ l)	56		
Ca	(mval/ 24 h)	11,5	6,5 - 16,5	variabel
	(mval/ l)	11,3		
Cl	(mval/ 24 h)	184	120 - 240	80 - 95 %
	(mval/ l)	181		

2. Regulationsmechanismen

2.1. Natrium

Das große Natrium-Reservoir im Körper führt nur zu geringen relativen Änderungen des Gesamtkörperrnatriums und des extrazellulären Flüssigkeitsraumes bei Schwankungen der Aufnahme und Abgabe

dieses Elektrolyts. Störungen dieser Art werden kurzfristig reguliert; bereits 4 - 6 Stunden nach einer salzreichen Kost sind überschüssige Mengen wieder ausgeschieden (21)⁺.

Dem Glomerulumfiltrat kommt wahrscheinlich nur eine untergeordnete Bedeutung in der Regulation des Natrium-Haushalts zu. Ein Anstieg der filtrierten Natriummenge um 1 % hätte zwar eine doppelt so hohe Ausscheidung zur Folge, wird aber durch eine Zunahme der tubulären Rückresorption ausgeglichen. Man fand selbst bei größeren Änderungen der Filtrationsrate nur geringe Schwankungen der Natrium-Exkretion. Dieser Mechanismus wurde als glomerulo-tubuläre Balance bezeichnet (28, 46)⁺.

Einen deutlich größeren Einfluß scheint das Nebennierenrindenhormon Aldosteron zu besitzen, für dessen Ausschüttung eine Anpassung an eine veränderte nutritive Natriumzufuhr bewiesen werden konnte. Salzarme Nahrung erhöht die Hormonausschüttung, wodurch Natrium vermehrt im Austausch mit Kalium- und Wasserstoffionen rückresorbiert wird. Die im Harn ausgeschiedene Menge verringert sich. Der wichtigste physiologische Stimulus für die Freisetzung ist das Renin-Angiotensin-System, das seinen Ausgangspunkt im juxtaglomerulären Apparat findet. Eine weitere Steuerung erfolgt über das ACTH der Hypophyse, dessen Inkretion dem Cortisol-Spiegel im Blut umgekehrt proportional ist, und über den direkten Einfluß der Plasma-Natrium- und Kalium-Konzentration auf die Nebennierenrinde (13)⁺.

"Der gesamte Mechanismus unterliegt der Selbstregulierung" (21)⁺.

Durch Versuche von Bahlmann (3)⁺ wurde die These von der Existenz eines zweiten Hormons mit antagonistischen Eigenschaften zum Aldosteron gestützt. 1968 konnte zum ersten Mal über den erfolgreichen Nachweis einer natriuretischen Substanz in tierischem Plasma berichtet werden (42)⁺, jedoch ist "bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein allgemein akzeptierter Hormonnachweis noch nicht geführt worden". Mit der Bestätigung eines natriuretischen Hormons würde wahrscheinlich eine Antwort auf viele noch offener. Fragen möglich sein, wie z.B. auch eine Erklärung des Escape-Phänomens (21)⁺.

Das antidiuretische Hormon oder Vasopressin wirkt sich über cyclisches AMP durch Erhöhung der Wasserpermeabilität in den distalen Tubulusabschnitten und Sammelröhrchen nur auf die Konzentration (Erhöhung der Konzentration), nicht aber auf die ausgeschiedenen Mengen der Urinbestandteile aus. Eine erhöhte Entladungsrate der Osmorezeptoren im vorderen Hypothalamus führt zur Freisetzung dieses Hormons, das damit für die Aufrechterhaltung eines gleichmäßigen osmotischen Drucks im Blut verantwortlich ist (13)⁺.

Ein physikalischer Faktor, der alle Austausch- und Verteilungsvorgänge im Körper beeinflusst, ist die Druckdifferenz, die an der Grenzfläche zweier Medien herrscht. Sie ergibt sich als Summe von zwei Einzeldrücken. Der hydrostatische Druck in der Niere wird durch Regelwiderstände im Bereich der afferenten Arteriole ("Autoregulation des Glomerulumfiltrats") und an der efferenten Arteriole (Druck-

abfall zwischen glomerulärer und peritubulärer Kapillare) gesteuert. In Experimenten hat Earley (11)⁺ bei unvermindertem Filtrat den Perfusionsdruck und damit die Nierendurchblutung erhöht und fand einen deutlichen Anstieg der Natrium-Ausscheidung. Eine Funktion des Proteingehalts im Plasma ist der kolloidosmotische Druck, der nach Abfiltration eines eiweißfreien Ultrafiltrats in den peritubulären Kapillaren einen höheren Wert als im Plasma erreicht hat. Die Größe dieses Drucks im Perfusat steht in direkter Beziehung zur Natrium-Resorption im benachbarten Tubulus (21)⁺.

Eine letzte nur unsicher reproduzierbare Regulationsmöglichkeit enthält die These der "Intrarenalen Umverteilung von Glomerulusfiltrat und Nierendurchblutung", die jedoch eine nicht unbedeutende Rolle in der Regulation des Elektrolythaushalts spielen könnte. Diese Theorie besagt, daß "die Nephrene in Analogie zu ihren strukturellen Unterschieden auch unterschiedliche Funktionen aufweisen könnten und dadurch bei Konstanz von Gesamtfiltrat und Gesamtdurchblutung die Ausscheidungsfunktion der Niere veränderten" (22)⁺.

Wahrscheinlich nur geringen Einfluß übt die ausschließlich sympathische Innervierung der Niere aus, bei deren Aktivität Hinweise auf eine vermehrte Salzausscheidung gefunden wurden. Als eventuelle Ursache wird ein direkter Angriff auf die Tubuluszellen oder indirekt auf die Markdurchblutung diskutiert (13)⁺.

Es ist bei all diesen aktiven und passiven Regulationsmechanismen zu erwarten, daß sie nicht isoliert voneinander auftreten, sondern gemeinsam sowohl synergistisch, als auch antagonistisch wirken, sodaß in Summa eben ein Effekt nachweisbar ist. Die Kenntnis der verschiedenen Wirkungsorte (z.B. Aldosteron im distalen, physikalische Faktoren im proximalen Tubulus) unterstützen diese Annahme. Welche quantitative Bedeutung den einzelnen Faktoren dabei zukommt und welche für Sofort- oder Langzeitregulation verantwortlich sind, ist bis jetzt nicht verbindlich zu beantworten (21)⁺.

2.2. Kalium

Der Steuerungsmechanismus des Kalium-Haushalts reagiert weitaus weniger empfindlich. So bleibt selbst bei einem bereits vorhandenen Kaliummangel die normale renale Ausscheidung noch einige Zeit erhalten. Das System besitzt aber die Fähigkeit der Adaptation: Eine längerdauernde Zufuhr konstant großer Kaliummengen veranlaßt einen langsamen Anstieg der ausgeschiedenen Mengen (13)⁺.

Die Beobachtung, daß im proximalen Teil des Tubulus ein Großteil der im Filtrat vorhandenen Kaliumionen resorbiert und etwa im gleichen Ausmaß im distalen Teil wieder sezerniert wird, ist als Kalium-Gleichgewicht beschrieben. Unterschiedliche Mengen im Urin beruhen auf Variationen der distalen Sekretion (47)⁺, an deren Steuerung auch hormonelle Beteiligung nachzuweisen ist.

Unter dem Einfluß von Aldosteron wird vermehrt Kalium im Austausch von Natrium abgegeben. Da zusätzlich Wasserstoffionen um den Austausch mit Natrium konkurrieren, wird die endgültig sezernierte Menge von den Natrium- und Kalium-Konzentrationen und dem pH, einerseits im Filtrat und andererseits im Blutplasma und interstitiellen Nierengewebe bestimmt. Z.B. erhöht sich bei höher glomerulärer Filtrationsrate das Natrium-Angebot (pro Zeit) im Tubulus, sodaß ein vermehrter Austausch erfolgt und damit die Kalium-Sekretion ansteigt. Auf Grund dessen ist ein gleichzeitiger Anstieg und Abfall der ausgeschiedenen Natrium- und Kalium-Mengen zu erwarten (13)⁺.

2.3. Calcium

Von rund 1,2 kg Calcium im menschlichen Körper enthält die extrazelluläre Flüssigkeit nur etwa 0,5 o/oo. Dieser Anteil beteiligt sich in ionisierter Form entscheidend an einer Vielzahl von Vorgängen im Organismus. Die Reaktionen verlangen einen nahezu konstanten und fein regulierbaren Serumspiegel, der nur mit einem sehr leistungsfähigen Reglersystem aufrechtzuerhalten ist (47)⁺.

Die steuernden Funktionen werden hauptsächlich von Hormonen und Vitaminen übernommen. Weitaus wichtiger als bei den übrigen Elektrolyten ist hier die Regulation bereits der Calcium-Aufnahme. Vitamin D und Parathormon fördern die Calcium-Resorption aus dem Darm. Eine gleichzeitig stattfindende Sekretion ins Darmlumen transportiert eher konstante Mengen.

Da die renale Ausscheidung nur in bestimmten Grenzen variiert werden kann, kommt dem Ausgleich der Calcium-Bilanz über den Intestinaltrakt eine größere Bedeutung zu (47)⁺.

Ein leicht mobilisierbarer Calcium-Pool des Knochens steht mit dem Serum-Calcium im Gleichgewicht. Jedoch werden erst unter dem Einfluß von Parathormon genügend hohe Plasma-Spiegel erreicht. Das Hormon fördert die Freisetzung aus dem Knochen und die tubuläre Rückresorption von Calcium. Auslösender Stimulus für die Ausschüttung ist ein niedriger Calcium-Spiegel im Blut der Nebenschilddrüse. Jener kann indirekt durch hohe Phosphatkonzentration hervorgerufen werden, die Calcium-Ionen abfangen (47)⁺.

Calcitonin, das 3. Schilddrüsenhormon, wirkt als Antagonist des Parathormons. Hohe Blut-Calcium-Spiegel werden durch Hemmung der Resorption aus dem Knochen gesenkt. Der Effekt beruht offensichtlich auf einer direkten Beeinflussung der Enzymaktivitäten, letzten Endes, wie bei Parathormon, auf der von cyclischem AMP (13)⁺. Die Steuerung ist als direkter Rückkopplungsmechanismus gestaltet. In der Niere wird die tubuläre Rückresorption von Calcium gehemmt, die Ausscheidung im Urin demnach erhöht (47)⁺.

Die genannten Hormone besitzen synergistische Wirkungen auf den Phosphat- und, in geringem Maße, auf den Natrium- und Kaliumhaushalt durch Hemmung der Rückresorption. Über den exakten Mechanismus der renalen Calcium-Ausscheidung ist nur wenig bekannt. Ob ein tubuläres Resorptionsmaximum besteht, oder ob bei 100 %-iger Rückresorption eine in der Kapazität beschränkte Sekretion regulierende Funk-

tionen ausübt, ist ebenfalls noch unklar (47)⁺.

2.4. Chlor

Die Regulation des Chlorid-Haushalts ist weitgehend unbekannt. Chlorid-Spiegel laufen im allgemeinen mit den Veränderungen der Kationen (Na^+ , K^+ , Ca^+ , H^+ , NH_4^+) parallel und gleichen sich insbesondere Schwankungen des Natrium-Haushalts an (47)⁺. Auf der Seite der Anionen beeinflusst das Bicarbonat-Ion die Chlorid-Konzentration; so stehen deren Ausscheidungsmengen im umgekehrten Verhältnis zueinander. Bei Chlorid-Verschiebungen handelt es sich "hauptsächlich um passive Vorgänge, es sind aber auch Hinweise auf aktiven Transport gefunden worden" (13)⁺.

3. Tagesperiodik

3.1. Allgemeine Grundlagen

Neben der Körpertemperatur an verschiedenen Hautstellen und der Nebennierenrindenfunktion sind die Elektrolytausscheidungen im Harn, sowie das Harnvolumen die am genauesten untersuchten Meßgrößen in Bezug auf ihren circadianen Rhythmus. Die "biologischen Uhren", welche diese Rhythmen steuern, werden z.T. im limbischen System vermutet (13)⁺. Solche Mechanismen erweisen sich nicht nur als "passive Antwort auf periodische Umweltbedingungen" (z.B. Erdrotation), sondern besitzen einen endogenen, unabhängigen Charakter einer selbsterregenden Schwingung. Obwohl die Länge circadianer Perioden sowohl hinsichtlich der Meßgrößen, als auch unter verschiedenen Individuen differiert, bewegt sie sich in engeren Grenzen um den Wert von 24 Stunden. Das schließt, wie Aschoff (2)⁺ in speziellen Versuchen bewiesen hat, das Auftreten von Extremwerten (z.B. 16 und 48 Stunden) nicht aus. Ein weiteres Ergebnis ist die Erkenntnis, daß die Phasen verschiedener Körperfunktionen nicht in jedem Fall fest aneinander gebunden sind, sondern sich im Versuch dissoziieren und bis zu einer Differenz von 180° verschieben können. Jedoch ist die Frage, ob es einen einzigen zentralen Uhrmechanismus, dessen Steuerung alle Funktionen unterworfen sind, oder eine Vielfalt von Uhren innerhalb der Zelle oder des Organismus gibt, noch nicht experimentell gelöst (58)⁺.

Es erscheint zunächst paradox, daß eine Meßgröße, für die ein spontaner biologischer Rhythmus von ca. 25,5 Stunden gefunden wurde (z.B. durchschnittliche Dauer eines "menschlichen Tages"), dennoch im normalen Leben eine exakte Tagesperiodik von 24 Stunden aufweist. Das ist nur so zu verstehen, daß ein äußerer Zeitgeber in diesen Mechanismus eingreift, d.h. mit der äußeren Phase synchronisiert. Als solche Zeitgeber könnten der Hell - Dunkel Wechsel des Tages, soziale Einflüsse und Temperaturschwankungen in Frage kommen (58)⁺.

3.2. Tagesrhythmus der Elektrolyt-Ausscheidung

Die experimentelle Untersuchung eines Tagesgangs erlaubt nach Wisser (57)⁺ nur unter folgenden Bedingungen eine zuverlässige Aussage:

Die Messungen müssen

- a) an denselben Versuchspersonen
- b) über mehrere Tage
- c) unter streng kontrollierten Bedingungen in
- d) tags und nachts gleichbleibenden, nicht zu großen Meßintervallen

durchgeführt werden. Da verschiedene Forscher verschiedene Versuchsbedingungen anwenden, können ihre Ergebnisse nicht immer exakt miteinander verglichen werden.

Legende zu Abb. 1 - 4:

Tagesrhythmen der Elektrolytausscheidung im Harn,
dargestellt an einigen repräsentativen Arbeiten.

Kurve	Forscher- gruppe	Versuchs- personen	Versuchs- tage	Elektrolyt- Diät	Meßintervalle in Stunden
o	Wisser (57) ⁺	6	4	-	3
.	Buchs- baum (9) ⁺	4	5	+	4
x	Min (36) ⁺	8	2-3	+	3
+	Lavernhe (27) ⁺	8	7	+	4
Δ	Krieger (25) ⁺	8	-	+	verschieden

Zur besseren Übersicht sind die Kurven in einem einheitlichen Maßstab gezeichnet; auf Absolutwerte wurde ganz verzichtet.

Ordinate: Ausscheidung der Elektrolytmenge pro
Zeiteinheit

Abszisse: Tageszeit

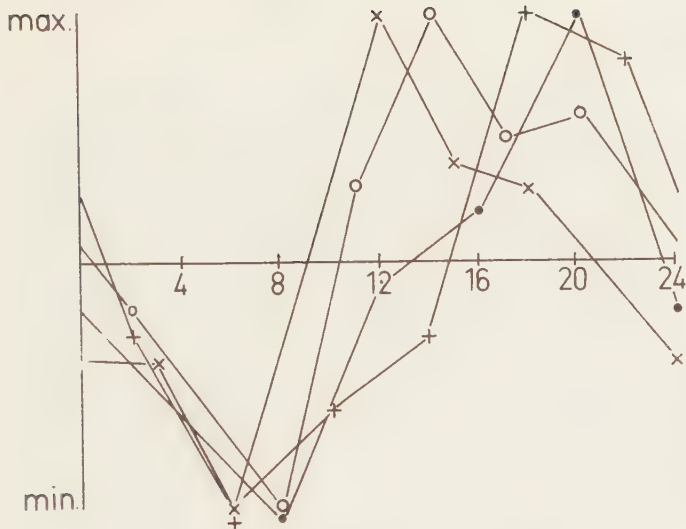


Abb. 1: Tagesperiodik
der Natrium-Ausscheidung

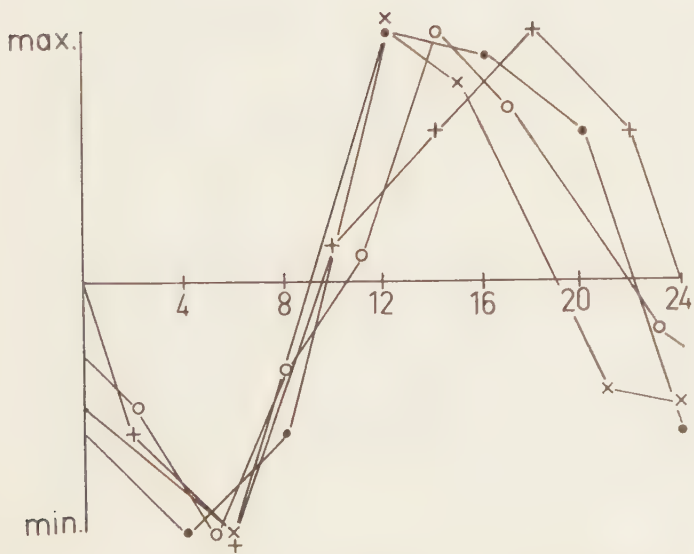


Abb. 2: Tagesperiodik der
Kalium-Ausscheidung

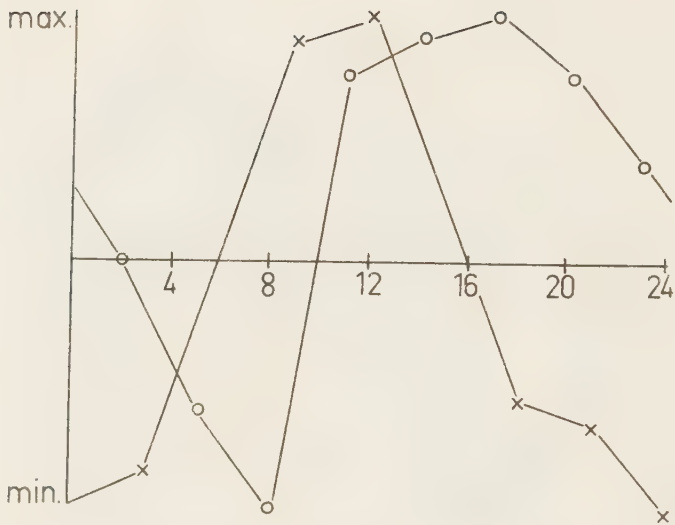


Abb. 3: Tagesperiodik der Calcium-Ausscheidung

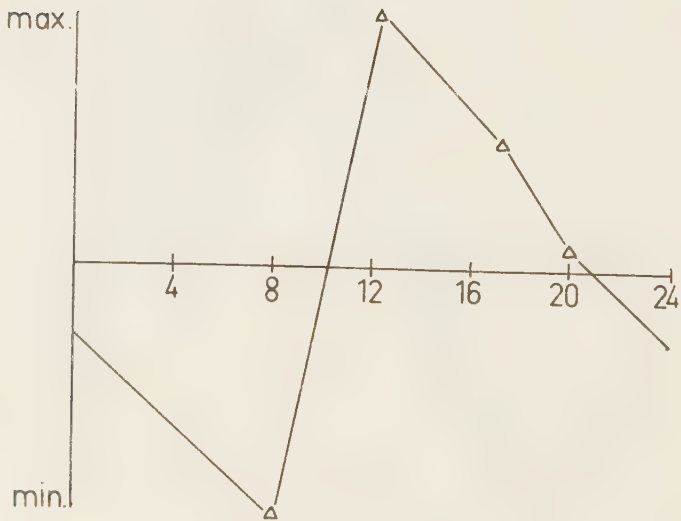


Abb. 4 Tagesperiodik der Chlor-Ausscheidung

Alle Autoren sprechen von einer signifikanten Tagesperiodik für die untersuchten Elektrolyte. Buchsbaum (9)⁺ beurteilte die Unterschiede der täglichen interindividuellen Mittelwerte als nicht bedeutend und fand während der gesamten Versuchsdauer keine Anhaltspunkte für Trends. Die Kurven für Natrium und Kalium sind durch einen schnellen Anstieg und einen konstanten, langsamen Abfall charakterisiert (9, 36)⁺, während die für Calcium sinusförmig verlaufen (36)⁺. Die Kalium-Ekretion einer Versuchsperson weist die größte Variation der Amplitude innerhalb eines Tages (27, 36)⁺ und bei Beobachtungen derselben Meßtermine die geringste Standardabweichung auf (27)⁺. Folglich räumen die meisten Autoren diesem Ion die beste Aussagekraft für Untersuchungen tagesperiodischer Schwankungen im Vergleich zu Natrium und Chlorid ein, deren Kurven eine größere Regellosigkeit und Ungleichmäßigkeit aufweisen (25, 27, 34, 35)⁺. Demnach lassen die Rhythmen dieser 3 Ionen gewöhnlich einen parallelen Verlauf erkennen (4, 34, 35)⁺. Mann (30)⁺ stellte fest, daß bei Zunahme der ausgeschiedenen Mengen jeder Substanz während eines Tages auch die circadiane Schwingungsbreite größer wurde.

3.3. Steuerungsmechanismen

Da keine signifikanten Beziehungen zwischen Serum-Elektrolyt-Konzentrationen und den Mengen renaler Ausscheidungen bestehen, müssen höhere Mechanismen an der Steuerung der Tagesperiodik beteiligt sein (9)⁺. Viele Tatsachen deuten darauf hin, daß Veränderungen der tubulären Rückresorption entscheidenden Anteil daran haben (49)⁺.

Für die Behauptung von Sirota (48)⁺, die glomeruläre Filtrationsrate beeinflusse die Tubulusresorption, gibt es zwar einige Anhaltspunkte, doch wird sie allgemein abgelehnt (33)⁺. Stanbury (49)⁺ vermutet einen steuernden Einfluß des Säure-Basen-Haushalts, da er die enge Verbindung von rhythmischen pH-Änderungen und Schwankungen der Elektrolytmengen im Urin erkannte. Eine steuernde Wirkung durch Vasopressin existiert nicht, da durch Versuche die Unabhängigkeit der untersuchten tagesrhythmischen Schwankungen von der Hypophysenhinterlappenaktivität nachgewiesen werden konnte (15)⁺. Am häufigsten wurde wohl die Steroid-Sekretion als regulierender Faktor diskutiert. Man beobachtete, daß bei verminderter Leistung der Nebennierenrinde die Periodik unvermindert weiterbestehen (38)⁺ oder völlig aufgehoben sein kann (32)⁺. Zwischen den ausgeschiedenen Mengen der 17-Hydroxysteroiden und Elektrolyte besteht keine Korrelation (25)⁺. Diese und andere Beobachtungen führten zu dem Ergebnis, daß die Nebennierenrindensekretion zwar "nötig ist für eine normale Rhythmik der Elektrolyt-Exkretion; es wird aber vermutet, daß rhythmische Aktivitäten in der Nebennierenrinde dazu nicht nötig sind" (23)⁺.

3.4. Beeinflussung der Periodik

3.4.1. Nahrung

Als naheliegender Störfaktor der circadianen Elektrolyt-Exkretion ist eine unterschiedliche Salzzufuhr mit der Nahrung zu diskutieren. Erstaunlicherweise zeigen viele Untersuchungen eine weitgehende Unabhängigkeit der Periodikmuster von Zeitpunkt und Menge der Elektrolyt-Aufnahme (9, 29, 49)⁺.

Allerdings bezieht sich diese Unabhängigkeit nur auf die Kurvenform und nicht auf die absolute Größe der ausgeschiedenen Mengen. Die Beobachtung wird durch Versuche mit uneingeschränkter Essensauswahl gestützt, die unverändert eine klare Rhythmik mit konstanten Phasenbeziehungen zur Tageszeit lieferten (30)⁺. Arbeiten von Min (36)⁺ zeigen allerdings, daß 3 reguläre Mahlzeiten weniger übereinstimmende Ergebnisse als konstante Diät in 3-stündigen Intervallen liefern. Für den Calciumhaushalt hält es Briscoe (8)⁺ für sicher, daß die unterschiedliche Nahrungszufuhr die dominante Rolle in der Tagesperiodik der renalen Ausscheidung spielt. Erhöhung der Aufnahme ist von einer signifikanten Erhöhung der Ausscheidung gefolgt (18, 33)⁺.

3.4.2. Physische Aktivität

Übereinstimmendere Auffassungen sind über einen positiven Einfluß physischer Aktivität auf die Ausscheidungsleistung der Niere vorhanden. Spezielle Untersuchungen wurden für Calcium durchgeführt, die eine Zunahme der Exkretion bei Zunahme der Bewegung zeigten (18, 29)⁺. Im Stehen nimmt im Vergleich zum Liegen sowohl die Natrium- (16)⁺, als auch die Chlorid-Ausscheidung (55) ab. Da hier keine vergleichbaren Serumänderungen gefunden wurden, müssen diese Erscheinungen Ergebnis einer veränderten tubulären Rückresorption sein, möglicherweise auf Grund hämodynamischer Faktoren oder hormoneller Wirkungen. Während Stanbury für Natrium, Kalium und Chlorid wieder jeglichen Einfluß auf das Periodikmuster leugnet (49)⁺, gesteht Briscoe der physischen Aktivität eine entscheidende Rolle in der Regulation des Calcium-Haushalts zu (8)⁺.

3.4.3. Krankheiten

Besondere medizinische Relevanz für Diagnostik und Krankheitsverlauf erlangt die Erkenntnis, daß die tägliche Rhythmik der Wasser- und Elektrolyt-Ausscheidung im pathologischen Status abwesend oder umgekehrt sein kann (48)⁺. Bereits vor mehr als 20 Jahren waren Änderungen in der Periodik bei anormaler Herz-, Leber-, Nieren- und Nebennierenfunktion bekannt. Interessante Ergebnisse brachten Beobachtungen von Patienten mit Störungen des zentralnervösen Systems:

Erkrankung im / in der	Tagesperiodik
Extrahypothalamischen System	bei allen Patienten normal
Hypothalamischen System	50 % der Patienten normale 40 % der Patienten umgekehrte Periodik
Hypophyse	alle Patienten abnorme Periodik

Die Ergebnisse belegen zwar die Behauptung, daß abgegrenzte Krankheiten (hier des ZNS) verbunden sind mit einem abnormen Tagesgang der Elektrolyt-Ausscheidung, bieten aber noch keine Erklärung für den Wirkungsmechanismus (25)⁺.

3.4.4. Umweltfaktoren

Ebensowenig sind die Wirkungsmechanismen von Umweltfaktoren bekannt, die auch zu erheblichen Störungen des circadianen Systems führen (17)⁺. Wie schon oben erwähnt, scheinen dabei die Natrium-

und Chlorid-Exkretionen den verschiedenen äußeren Einflüssen mehr unterworfen zu sein, als die von Kalium (35)⁺. Obwohl die engere Natur unbekannt ist, scheint die renale Periodik, die den sich spontan ereignenden Exkretions-Rhythmen unterliegt, auch das Schema der renalen Antwort auf eine Verschiedenheit von ankommenden, äußeren Reizen zu bestimmen (34)⁺. Medizinische Konsequenzen aus jeglicher Rhythmik ergeben sich insofern, als "die Antworten eines Organs auf verschiedene Situationen zu den verschiedenen Tageszeiten sehr unterschiedlich sein können" (1)⁺, was von der Erarbeitung der Diagnose bis zur Wirksamkeit therapeutischer Maßnahmen Bedeutung erlangt.

4. Klimaeinfluß

Die meisten chemischen und biologischen Reaktionen unterliegen einer zwei- bis dreifachen Beschleunigung bei Temperaturerhöhungen um 10° C. Die biologische Uhr hingegen zeigt zwar keine völlige Unabhängigkeit, doch eine weitgehende Temperaturkompensation mit einem Effekt von gewöhnlich weniger als 10 %. Allein die Existenz dieses Effekts gibt Anhaltspunkte, einen Temperatureinfluß auf die Elemente eines periodischen Systems zu vermuten (58)⁺.

Zusammenhänge zwischen Wetter und vegetativem Nervensystem waren bereits vor 25 Jahren genauer bekannt. Bei sämtlichen Störungswetterlagen besteht eine erhöhte vegetative Erregbarkeit des Menschen. Alle Wetterveränderungen wirken gleichsinnig biotrop, d.h. sie werden vom Vegetativum in gleicher Richtung beantwortet. Unterschiede in der biotropen Wirkung scheinen nur hinsichtlich der Intensität zu bestehen. Straube konnte durch voneinander getrennte und unabhängige Untersuchungen beider vegetativer Nervensysteme nachweisen, daß zwischen dem Ansprechen des Parasympathikus und des Sympathikus lediglich Unterschiede in quantitativer, nicht aber in qualitativer Hinsicht und bezüglich des zeitlichen Ablaufs der Erregbarkeitssteigerung vorhanden sind. Die parasympathische Reaktion erwies sich konstant um wenigstens stärker und setzte früher ein als die des Sympathikus. Die primäre Wirkung aller Wetterstörungen ließe sich folglich auf eine parasympathische Erregbarkeitssteigerung zurückführen (52)⁺. Kompensatorisch würde darauf eine sympathische Reaktion erfolgen (51)⁺.

Jedoch hängt die Ansprechbarkeit des vegetativen Nervensystems, nach dem Ausgangswertgesetz von Wilder (56)⁺, von dem bereits bestehenden Erregungszustand ab. Das kann soweit führen, daß es zu einer Richtungsumkehr der Reizwirkung kommt, im speziellen Fall zu einer sympathischen Reaktion nach mehreren, rasch aufeinanderfolgenden Reizen des Parasympathikus.

Die Reaktionsbereitschaft des Organismus ist offensichtlich auch in Bezug auf Witterungseinflüsse von der jeweiligen tagesperiodischen Phasenlage abhängig. Den Beweis dafür erbrachte Stollreither (50)⁺, der bei Versuchspersonen eine biotrope Wirkung des Föhns fast nur in der 2. Hälfte des Tages fand.

Möglicherweise enthalten die Beobachtungen von Reinberg Beweise für Auswirkungen klimatischer Reize auf die renalen Funktionen. Er bestimmte die Mengen der Kalium-Ausscheidung an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Jahreszeiten, und konnte charakteristische, reproduzierbare Unterschiede feststellen: Im Herbst lagen die Kalium-peaks in Paris um 8.00 - 12.00 Uhr, in Kopenhagen um 12.00 - 16.00 Uhr, während sie im Frühjahr in Paris von 16.00 - 20.00 Uhr auftraten (43)⁺. Ob hier klimatische Reize die dominante Rolle als Umweltreiz spielen, läßt sich mit Hilfe dieses Versuchs allein nicht beweisen. Es muß jedoch diese Möglichkeit in Erwägung gezogen werden.

D. M E T H O D I K

1. ALLGEMEINE VERSUCHSBEDINGUNGEN

1.1. Versuchspersonen (VP)

Als VPs stellten sich 3 Medizinstudenten zur Verfügung, die seit 3 Jahren miteinander gut bekannt waren. VP 2 und VP 3 waren während der gesamten Versuchsdauer gesund, während VP 1 bereits ab Tag 2 etwa 14 Tage lang an Zahnschmerzen und nach einer Antibiotica-Behandlung (Sobelin) ab Tag 14 an Diarrhoen litt.

1.2. Versuchsdauer

Erster Versuchstag 8.3.1973 = Tag 2
Letzter Versuchstag 5.4.1973 = Tag 30
Gesamtdauer 28 1/2 Tage
Tag 1 diente restlichen Vorbereitungen und zur Eingewöhnung. Die VPs hielten sich bereits im Institut auf.

1.3. Charakteristik des Versuches

3 VPs hielten sich 28 1/2 Tage lang ständig in einem - von einer geringen Tagesperiodik abgesehen (s.S. 28) - gleichmäßig klimatisierten Raum (Bioklima-raum) auf. Die Verbindungen zur Außenwelt waren so gut wie möglich unterbrochen (u.a. wenig Besuche und speziell keine Information über die Witterung, jedoch waren Radio, TV und Zeitungen vorhanden und telefonischer Kontakt "nach außen" möglich). Der Tagesablauf war weitgehend standardisiert (s.S. 27).

Diesen Maßnahmen lag der Gedanke zugrunde, umweltbedingte Störfaktoren zu eliminieren.

Morgens und abends verließen die VPs für 1 Stunde den Bioklimaraum, um in einem Nebenraum (Versuchsbad) einem Klimareiz ausgesetzt zu werden. Eventuelle Veränderungen im Organismus, die auf diesen Klimareiz zurückzuführen wären, sollten durch Messungen physiologischer und psychologischer Parameter festgestellt werden (s.S. 27).

Während der gesamten Versuchsdauer stand ein Versuchsleiter (abwechselnd 3 weitere Medizinstudenten) zur Betreuung und zum Bedienen der Geräte zur Verfügung.

1.4. Versuchsort

Institut für Med. Balneologie und Klimatologie der Universität München.

1.4.1. Bioklimaraum (s. Abb. 5)

Funktion: Aufenthaltsort (Wohnraum) der VPs.

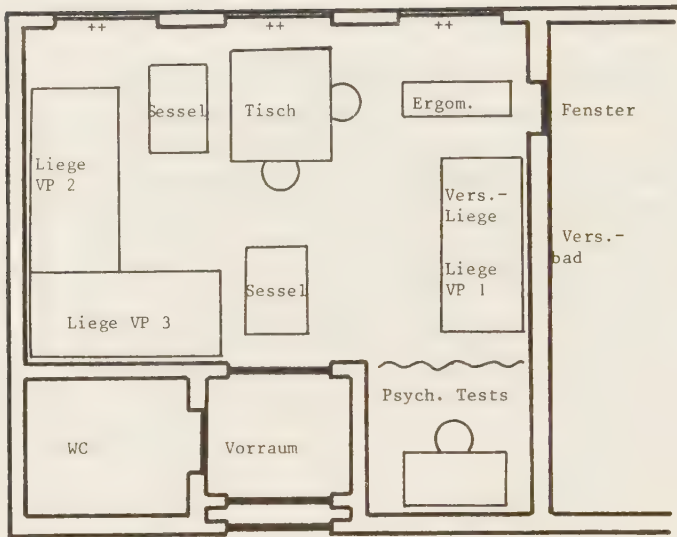


Abb. 5: Bioklimaraum, Grundriß
(nicht maßstabsgetreu)

Größe ca. 15 m² Grundfläche.

Beleuchtung am Tag ++: Xenonhochdrucklampen, dem
Sonnenspektrum sehr ähnlich.

Beleuchtung abends: Leuchtstofflampen

Keine Fenster nach außen.

Aufbau des Raumes als Faraday-Käfig:

Abschirmung elektromagnetischer Strahlung bis zum
Dezimeterbereich.

Raum voll klimatisierbar (s.S. 28).

Wände beheizbar, durch Vorhänge verkleidet.

Luft-Umwälzanlage mit etwa 30 % Frischluftzusatz.

1.4.2. Versuchsbad

Funktion: Ort des Klimareizes, Kontrollraum mit weiteren Meßgeräten und Aufenthaltsraum für die Versuchsleiter.

Raum ebenfalls klimatisiert und künstlich beleuchtet. Im Nebenraum: Dusche.

1.5. Tagesablauf

6.45 Uhr Wecken
 7.00 Uhr 1. Turn (= Versuchsdurchgang)
 8.30 Uhr Zum Klimareiz in Versuchsbad:
 Währenddessen Duschen und Frühstück
 9.30 Uhr Zurück in Bioklimaraum, 2. Turn
 11.30 Uhr Mittagessen
 12.30 Uhr 3. Turn
 14.00 Uhr Dessert
 14.30 Uhr 4. Turn
 16.00 Uhr Teepause
 17.00 Uhr 5. Turn
 18.30 Uhr Zum Klimareiz in Versuchsbad, während-
 dessen Abendessen
 19.30 Uhr Zurück in Bioklimaraum, Freizeit
 22.30 -
 23.30 Uhr Bettruhe

1.6. Beschreibung eines Versuchsdurchgangs

Dauer: Durchschnittlich 70 - 75 Minuten

Messungen und Tests (in Schlagworten):

Temperatur an verschiedenen Körperstellen, Wiedererwärmung, Elektrodermatometrie, Blutdruck, Schellong-Test, Atemgase, Lidschlagfrequenz, Flimmerverschmelzungsfrequenz, Lieblingsfarbe wählen, Grünfarbe einstellen, Ergometrie (6 min, 175 W), Zieltest.

Nachts: Rectaltemperatur.

1.7. Klimaverhältnisse

Die klimatischen Bedingungen in Bioklimaraum und Versuchsbad können hinsichtlich Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit beliebig und unabhängig voneinander variiert werden. Der Luftdruck bleibt unbeeinflusst und entspricht somit dem äußeren Luftdruck.

Im Bioklimaraum herrschte ständig eine Temperatur von 21°C und eine Luftfeuchtigkeit von 60 % mit geringen tagesperiodischen Schwankungen von $\pm 1^{\circ}\text{C}$ bzw. $\pm 5\%$ (konstantes Klima).

Die Temperatur- bzw. Feuchtigkeitsreize im Versuchsbad schwankten zwischen $14,6^{\circ}\text{C}$ und $29,2^{\circ}\text{C}$ bzw. zwischen 63 % und 88 %. Ein Klimareiz war durch eine bestimmte Feuchtigkeits-Temperatur Kombination gekennzeichnet (Reizklima) (s.S. 91).

2. SPEZIELLE VERSUCHSBEDINGUNGEN

2.1. Behandlung der Urinproben

Die Urinproben bestanden aus dem Sammelurin seit dem letzten Abgabetermin. Die Blase sollte zum Meßtermin möglichst vollständig entleert werden.

Der Urin wurde in Standzylindern gesammelt; zur Durchführung aller Messungen war eine Mindestmenge von ca. 150 ml nötig. Um Bestimmungen zu einem späteren Zeitpunkt durchführen zu können, wurden in verschiedenen Gefäßen abgefüllte Proben eingefroren.

2.2. Meßtermine

- 8.30 Uhr Urin 1 (U1) : Beeinflußt vom Abendreiz
des Vortages
- 11.30 Uhr Urin 2 (U2) : Beeinflußt vom Morgenreiz
- 14.30 Uhr Urin 4 (U4) : Wurde verworfen (Einfluß
des Mittagessens!)
- 18.30 Uhr Urin 3 (U3) : Kein Klimareiz vorausge-
hend.

2.3. Speisen

Die Essensauswahl wurde sowohl qualitativ als auch quantitativ kaum eingeschränkt (Ausnahme: Tomaten und Bananen). Im Laufe des Versuchs ergab sich, daß die VPs, mit Ausnahme des Mittagessens von der Kantine, eine immer gleiche oder ähnliche Zusammenstellung der übrigen Mahlzeiten wählten.

2.4. Getränke

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, blieb die in den Meßintervallen aufgenommene Flüssigkeitsmenge immer konstant:

Frühstück (bis 10.30 Uhr): 1 Glas Orangensaft und
3 Tassen Tee oder Kaffee, VP 1 nur 2 Tassen.

Mittagessen (bis 13.30 Uhr): 2 Gläser Limonade oder
Saft.

Nachmittags (bis 17.30 Uhr): 2 Tassen Tee.

Abends (ab 18.30 Uhr): 3 Gläser Limonade oder Saft.

Eine Stunde vor Abgabe des Urins nahmen die VPs keine Getränke mehr zu sich. Auf Alkoholgenuß wurde ganz verzichtet.

3. ANALYTISCHE METHODIK

3.1. Na-Konzentration

 Methode der Flammenanalyse.

3.1.1. Prinzip

 Die Vorgänge der atomaren Anregung und darauffolgenden Emission elektromagnetischer Wellen, sowie deren Analyse liegen sowohl der Flammen-, als auch der Röntgenfluoreszenzanalyse als physikalisches Prinzip zugrunde (s.S. 31). Eine Flamme liefert allerdings nur verhältnismäßig geringe Energiemengen zur Anregung. Elektronen werden meistens auf die nächste Schale gehoben und fallen unter Aussendung der sog. Grund- oder Resonanzlinie wieder auf ihr ursprüngliches Niveau zurück. Da Flammenenergie und Flammentemperatur gleichwertige Begriffe sind, erscheinen die Spektrallinien umso schwächer, je niedriger die Temperatur ist (20)⁺. Die Energieübertragung erfolgt nicht über Elektronenstöße oder, wie bei der Röntgenfluoreszenzanalyse, über Röntgenquanten, sondern den Austausch innerer Schwingungsenergie von Molekülen auf Elektronen. In zweiter Linie können chemische Prozesse an der Anregung beteiligt sein (14)⁺. Der Analysator, z.B. ein monochromatisches Filter der untersuchten Wellenlänge mit dahinterliegender Fotozelle, empfängt, in Abhängigkeit von der Flammendicke und Substanzmenge, "im wesentlichen nur Strahlung des betreffenden Elements aus den äußeren Flammenteilen", da die Strahlung aus dem Flammeninneren durch Selbstabsorption in äußeren Bezirken geschwächt wird.

Zur Flammenanalyse werden neben Diffusionsflammen (laminare Strömung) auch turbulente Flammen verwendet, da hier die Anregungsbedingungen oft günstiger sind. Die zu untersuchende Substanz wird in gelöster Form über einen Zerstäuber in die Flamme eingebracht. Es entstehen durch Verdampfen der Flüssigkeit zunächst Salzkristalle, die weiter erhitzt, in "atomaren Dampf" übergehen und nun angeregt werden (20)⁺.

3.1.2. Durchführung

Gerät: Beckmann Flammenphotometer (Flammenzusatz C)
 Brenngas: Knallgas
 Urin-Verdünnung: 1 : 500
 Eichkurve aus 5 Standardwerten
 Von jeder Probe wurden zur Kontrolle 2 Messungen durchgeführt.

3.2. K-, Ca-, Cl-Konzentration

Methode der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).

3.2.1. Prinzip

Die RFA ist eine zerstörungsfreie Methode der Spurenanalyse (12)⁺ in Mehrstoffsystemen, die bislang hauptsächlich zur Überprüfung industrieller Werkstoffe dient. Es können alle Elemente mit einer Ordnungszahl größer als 9 bestimmt werden.

Der Versuchsaufbau ähnelt der weitaus bekannteren Spektralanalyse. "Die Probe wird durch die polychromatische Strahlung einer Röntgenröhre bestrahlt" (37)⁺. Es werden Elektronen aus den inneren Schalen der Atome herausgeschlagen, deren freie

Plätze innerhalb von 10^{-8} sec. durch auf äußeren Bahnen kreisende Elektronen wieder eingenommen werden. Die diesem Übergang entsprechende Energie wird in Form von Röntgenquanten frei. Die charakteristische Röntgenstrahlung wird dann an den Netzebenen eines Einkristalls (Analysatorkristall) reflektiert. Gemäß der Bragg'schen Reflexionsbedingung kann die Wellenlänge λ aus dem Ablenkungswinkel 2θ berechnet werden. Jedes Element läßt sich anhand seines so entstandenen charakteristischen Emissionsspektrums identifizieren. Im Gegensatz zur Spektralanalyse besteht dieses nur aus wenigen markanten Linien, was besonders in Mehrstoffsystem mit einer einfacheren Analyse verbunden ist. Mit einem Zählrohr (Ionisations- oder Szintillationszählrohr) wird die Intensität (Impulszahl pro Zeiteinheit) der aufgefundenen Strahlung registriert, die in gewissen Grenzen der Konzentration der Probe direkt proportional ist. Die Umformung der Impulsrate in Konzentrationswerte geschieht mit Hilfe einer Eichlösung über einen Rechner (37)⁺. Um die Störstrahlung zu berücksichtigen, werden von allen gefundenen Intensitäten die Rauschimpulse subtrahiert.

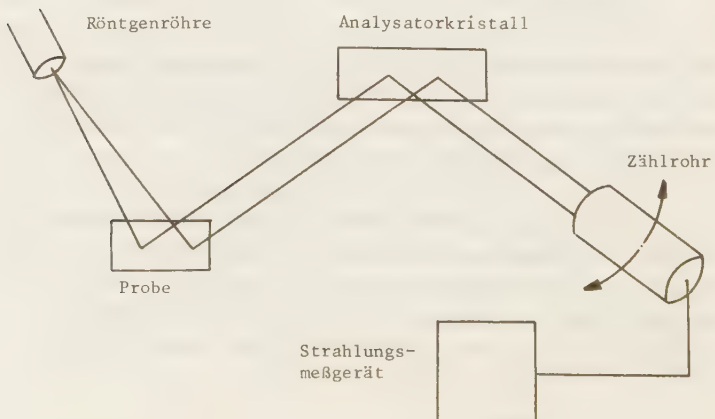


Abb. 6: Strahlengang bei Röntgenfluoreszenzanalyse

3.2.2. Durchführung

Probe: 1 ml Urin, unverdünnt.

Gerät: Siemens Röntgenspektralfluorometer SRS

Durchflußzählrohr, Kollimatorspaltbreite 0,4 cm

Für Kalium: Kristall LIF 100, Meßzeit: 10 Sekunden.

Für Calcium: Kristall LIF 100, Meßzeit: 20 Sekunden.

Für Chlor: Kristall PET, Meßzeit: 20 Sekunden.

4. METHODE DER AUSWERTUNG

4.1. Allgemeine Bemerkungen

Die Flammenphotometrie und Röntgenfluoreszenzanalyse liefern die Urinkonzentrationen der Elemente Na, K, Ca, Cl. Durch Multiplikation mit dem zugehörigen Volumen und Division durch die Dauer der Sammelintervalle erhält man die pro Zeiteinheit (1 Stunde) ausgeschiedene Substanzmenge. Sämtliche Überlegungen werden sowohl mit den Konzentrationen, als auch mit den Mengen pro Stunde (im folgenden kurz als "Menge" bezeichnet) durchgeführt.

Aufgrund des Verlaufs der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitskurven erscheint es notwendig, diese Reize als völlig isoliert voneinander zu betrachten; d.h. beide Parameter getrennt auf eine Urinkurve anzuwenden. Die Problematik dieser nicht eindeutigen Zuordnung wird in der Diskussion näher erläutert.

Wie lang ein kurzfristiger Klimareiz, wenn überhaupt, die Elektrolyt-Exkretion der Niere beeinflusst, ist bis jetzt nicht bekannt. Deshalb wird für die gesamte Auswertung folgende Annahme gemacht:

Ein entsprechender Klimareiz wirkt sich nur auf die Werte des darauffolgenden Meßintervalls aus, auf keinen Fall also auf die eines späteren.

Diese Annahme ist zudem wegen einer unterschiedlichen Länge der Sammelintervalle nötig:

U1: 14 Stunden,
U2: 3 Stunden,
U3: 4 Stunden,
U4: 3 Stunden.

Für K und Ca ergab die letzte Eichung der RFA ein zu geringes Signal-Rausch-Verhältnis. So fanden nur die Werte bis einschließlich Tag 26 Verwendung.

Ein offensichtlicher Eingewöhnungs- und Anpassungsprozeß kann an Tag 2 beobachtet werden. Die Konzentrationen und Mengen dieses Tages weichen bei allen VP's deutlich von den übrigen ab. Deshalb werden diese Werte nicht weiter berücksichtigt.

Insgesamt sind demnach je nach Element und Meßintervall nur 22 - 27 Versuchstage auswertbar, was zusammen mit einer unterschiedlichen Anzahl der verschiedenen Reizqualitäten teilweise eine prozentuale Darstellung erforderte. Prozente werden auf ganze Einheiten gerundet, folglich können auch Summen von 99 % und 101 % auftreten.

4.2. Tagesperiodik

Die Kurven der Urinwerte werden zunächst nach einer eventuell vorhandenen Tagesperiodik untersucht. Mit 3 Meßpunkten pro Tag sind folgende Kurvenverläufe möglich:

Typ 1a		}	U2 = Maximum	
Typ 1b				
Typ 2a		}	U2 = Minimum	
Typ 2b				
Typ 3a		}	U2 = mittlerer Wert oder	
Typ 3b			U2 = U1 oder U3	
			Typ a: $U1 \leq U3$	
			Typ b: $U1 > U3$	

Neben den Häufigkeiten der einzelnen Kurventypen wird für jede VP die mittlere Tagesperiodik (= arithmetisches Mittel der Werte jeweils von U1, U2 und U3) dargestellt. Zu diesen Mittelwertskurven sind sowohl die Variationskoeffizienten von Tag zu Tag, als auch die Amplituden = Schwingungsbreiten

der Mittelwertskurve (Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Wert), ausgedrückt absolut und in Prozent des Gesamttagesmittelwertes, errechnet.

Fehlende Werte werden durch das Mittel aus den Werten desselben Meßtermins am vorangegangenen und nachfolgenden Tag ersetzt. Lediglich in den in der Auswertung unter (b) aufgeführten Tabellen sind die Tage mit fehlenden Werten überhaupt nicht berücksichtigt.

4.3. Übereinstimmung der Versuchspersonen

Mit Hilfe der im Folgenden erklärten halbquantitativen Darstellung wird der Grad der Übereinstimmung der Urinkurven aller VPs ermittelt. Dieses Ergebnis zeigt, in wieviel Fällen die VPs in gleicher Weise reagieren. Gleichzeitig erlaubt es einen Hinweis auf die Nützlichkeit unserer Meßgrößen, d.h. auf ihre Aussagekraft bei Klimakammerversuchen.

4.4. Halbquantitative Auswertung

4.4.1. Prinzip

Die zunächst naheliegende Methode einer Auswertung bestünde in einem direkten optischen Vergleich der Reizkurven von Temperatur und Feuchtigkeit mit denen der Urinwerte. Bei den hier vorliegenden Meßergebnissen erweist sich diese Möglichkeit aber als unbrauchbar.

Dasselbe Prinzip des direkten Vergleiches zweier Kurven liegt auch der halbquantitativen Auswertung zugrunde, die durch folgendes Vorgehen charakterisiert ist:

Die graphisch dargestellte Verlaufsform einer Meßgröße wird in eine halbquantitative, schematische Form übergeführt. Dabei ist untersucht, wie sich ein Wert W_n zu einem Vergleichswert W_{n-1} (= vorausgehender Wert) verhält:

$W_n > W_{n-1}$: Symbol +

$W_n = W_{n-1}$: Symbol =

$W_n < W_{n-1}$: Symbol -

Die absoluten Größen der Werte bzw. die Größen der Differenzen zweier zu vergleichender Werte sind hier vernachlässigt.

Beispiel:



graph.

+ - = - + - halbquant.

Verglichen werden grundsätzlich nur Werte derselben Meßtermine.

Beispiel: Vergleich von U1, Tag 17 mit U1 Tag 16
und U1, Tag 18 mit U1, Tag 17, nicht
aber: U1, Tag 16 mit U2, Tag 16 und
U3, Tag 16 oder U1, Tag 16 mit $\bar{U}1$.

Dieses Verfahren findet sowohl bei allen Meßgrößen der Urine, als auch bei der Umformung der klimatischen Reizverläufe Anwendung. Zur besseren Übersicht werden für die Temperatur- und Feuchtigkeitskurven nicht die Symbole +, =, -, sondern w (warm), =, k (kalt) und f (feucht), =, t (trocken) gewählt.

Weitere Voraussetzung ist eine zeitliche Anpassung von Reiz- und Urinkurven; sie wird aufgrund der auf Seite 34 genannten Annahme durchgeführt.

Jetzt kann durch Vergleich der schematischen Darstellungen nach einem Klimaeinfluß gesucht werden; dabei treten 9 Möglichkeiten auf:

Reiz		Reaktion	Beurteilung
w	od. f	+	parallele Reaktion (p)
k	od. t	-	
w	od. f	-	antiparallele Reaktion (ap)
k	od. t	+	
	=	=	sowohl p, als auch ap (pap)
w	od. f	=	nach Reiz keine Reaktion
k	od. t	=	
	=	+	Reaktion ohne Reiz
	=	-	

Das erste Ergebnis entsteht durch Auszählen aller Symbolpaare und ist einer der folgenden Aussagen zuzuordnen:

- (1) Reiz- und Urinkurven laufen parallel
- (2) Reiz- und Urinkurven laufen antiparallel
- (3) Es ist keine offensichtliche Übereinstimmung im Sinne von (1) oder (2) zu erkennen.

Besonders im Falle (3) wird erst das vorliegende Ergebnis den weiteren Gang der Auswertung bestimmen, der dann an entsprechender Stelle erläutert wird.

4.4.2. Zusätzliche Bemerkungen

Ein gleicher Meßwert W (Symbol $=$) wird angenommen bei:

$$(1) \quad W_n = W_{n-1}$$

$$(2) \quad W_n \geq W_{n-1}, \text{ wenn } \Delta(W_n, W_{n-1}) \leq 15 \% \text{ der}$$

Differenz von $W_{\max}$ und $W_{\min}$.

Das gilt auch für die Kurven von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, wobei $\pm 15 \% \pm 2,2^\circ \text{C}$ bzw. 4% Luftfeuchtigkeit entsprechen.

Falls die VPs einem deutlich von den Bedingungen im Bioklimaraum unterschiedlichen Klimareiz während mindestens zweier aufeinanderfolgender Tage ausgesetzt waren, wird nach folgender Tabelle verfahren:

Reiz	Reaktion	Beurteilung
$= (w \text{ od. } f) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$	$=$	pap
$= (k \text{ od. } t) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$		
$= (w \text{ od. } f)$	$+$	p
$= (k \text{ od. } t)$	$-$	
$= (w \text{ od. } f)$	$-$	ap
$= (k \text{ od. } t)$	$+$	

Die Klammerangaben kennzeichnen die Art des gleichbleibenden Reizes. Somit kann jede ausgeprägte Klimaänderung auch als solche erfaßt werden.

Bei fehlenden Urinwerten: s.S. 36.

Die Entscheidung über das Vorliegen eines Klimaeffekts wird mit Hilfe des Vorzeichentests nach Dixon und Mood (45)⁺ und des Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen (45)⁺ gefällt.

Der Dixon und Mood-Test dient als Schnelltest zur Prüfung der zentralen Tendenz zweier unabhängiger Stichproben. Es wird das Zutreffen der Nullhypothese untersucht, die im vorliegenden Fall so formuliert ist:

Die Anzahl der parallelen und antiparallelen Antworten läßt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % keine Zuordnung eines Klimareizes zu einer dieser Reaktionsarten zu; man erwartet eine etwa gleichmäßige Verteilung von paralleler und antiparalleler Reaktion. Schranken oder Vertrauensgrenzen werden einer Tabelle entnommen. Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn die Schranken unter- oder überschritten werden. Zur Durchführung des Tests sind mindestens 6 Beobachtungen nötig, seine Wirksamkeit beträgt hier 95 % und sinkt mit zunehmendem Stichprobenumfang.

Der Wilcoxon-Test ermöglicht einen Vergleich abhängiger Stichproben bei nicht normalverteilten Differenzen. Geprüft wird die Nullhypothese: "Beide verbundenen Stichproben entstammen der gleichen Grundgesamtheit". Die nach einer Vorschrift zu errechnende Testgröße wird, wie beim Dixon und Mood-Test, anhand eines Tabellenwertes beurteilt. Im Gegensatz dazu liegt die Effizienz des Wilcoxon-Tests unabhängig vom Stichprobenumfang bei 95 %.

E. MESSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

1. Meßergebnisse

Eine Übersicht über die Meßergebnisse ist dem Anhang 2 (s.S. 92) zu entnehmen. Das genaue Datenmaterial kann im Institut für Med. Balneologie und Klimatologie der Universität München eingesehen werden.

2. Tagesperiodik

Legende zu den Abbildungen 7 - 14:

Darstellung der mittleren Tagesperiodik, nach Versuchspersonen getrennt:

x = VP 1,

. = VP 2,

O = VP 3.

Zu jedem Mittelwert $\bar{x}$ ist der mittlere Fehler $\bar{F}$ angegeben:

$$\bar{x} \pm \bar{F}$$

2.1. Natrium

a) Tagesmittelwerte (errechnet aus allen Versuchstagen und Meßterminen):

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	344	282	226
Menge (mval/h)	15,0	13,3	13,7
(mval/24 h)	359	320	329

b) Häufigkeiten der verschiedenen
Tagesperiodikkurven

Kurven- typ	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP2	VP 3
1 a	15	18	15	18	20	15
1 b	8	4	6	5	1	2
2 a	-	1	1	1	2	2
2 b	1	2	-	-	1	-
3 a	2	3	3	4	4	9
3 b	2	-	3	-	-	-
Versuchs- tage	28	28	28	28	28	28

c) Mittlere Tagesperiodik (errechnet aus allen
Versuchstagen)
(s.S. 43)

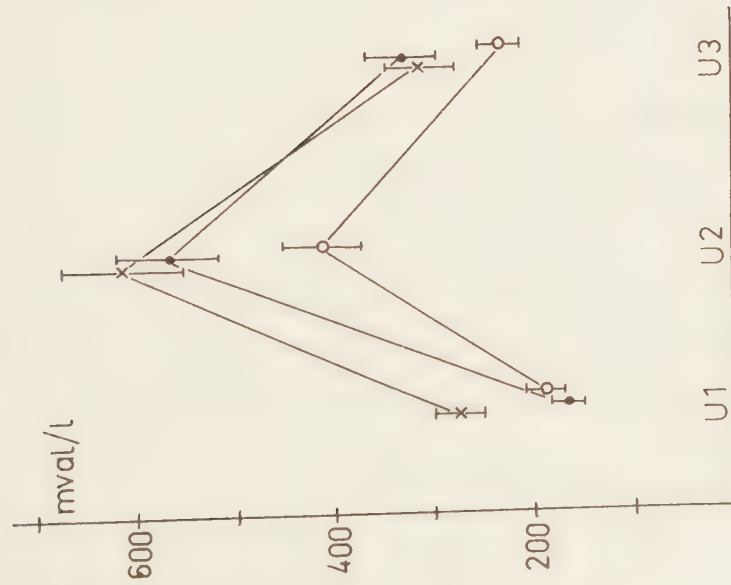


Abb. 7: Mittlere Tagesperiodik der Natrium-
ausscheidung (Konzentration)

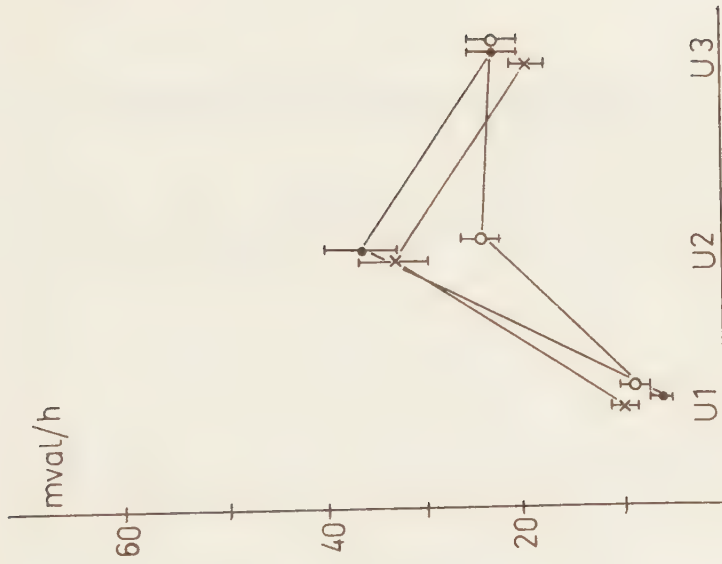


Abb. 8: Mittlere Tagesperiodik der Natrium-
ausscheidung (Menge/Zeit)

- d) Variationskoeffizienten der Standardabweichungen von Tag zu Tag: (in Prozent)

	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
U1	52	51	56	49	58	52
U2	50	46	50	53	52	44
U3	61	55	52	54	62	56

- e) Amplitude (Schwingungsbreite) der Mittelwertskurve:
(s.S.: 35)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	334 = 100 %	399 = 141 %	221 = 98 %
Menge (mval/h)	22,9 = 153 %	30,3 = 223 %	15,7 = 115 %

2.2. Kalium

- a) Tagesmittelwerte (errechnet aus allen Versuchstagen und Meßterminen)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	70	56	41,5
Menge (mval/h)	3,1	2,6	2,5
(mval/24 h)	75,5	63,5	60,5

b) Häufigkeiten der verschiedenen Periodikkurven:

Kurven- typ	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
1a	16	16	15	17	17	12
1b	4	2	5	-	-	-
2a	2	1	-	2	1	-
2b	-	-	-	-	-	-
3a	2	4	2	5	5	10
3b	-	-	-	-	-	-
Versuchs- tage	24	23	22	24	23	22

c) Mittlere Tagesperiodik (errechnet aus allen Versuchstagen):

(s.S. 46)

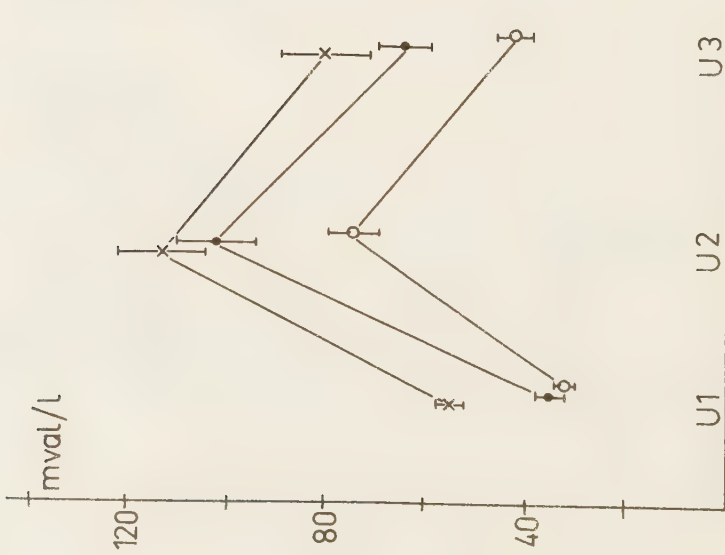


Abb. 9: Mittlere Tagesperiodik der Kalium-Ausscheidung (Konzentration)

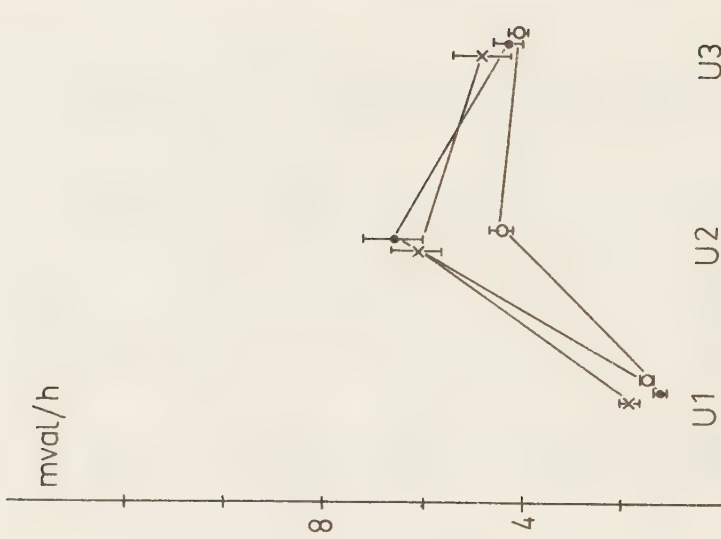


Abb. 10: Mittlere Tagesperiodik der Kalium-Ausscheidung (Menge/Zeit)

- d) Variationskoeffizienten der Standardabweichungen von Tag zu Tag; (in Prozent)

	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
U1	28	36	25	30	29	28
U2	39	37	32	39	46	24
U3	54	40	35	61	38	29

- e) Amplitude (Schwingungsbreite) der Mittelwerts-Kurve:

(s.S.: 35)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	58 = 83 %	67 = 120 %	42 = 101 %
Menge (mval/h)	4,4 = 134 %	5,4 = 171 %	2,9 = 115 %

2.3. Calcium

- a) Tagesmittelwerte (errechnet aus allen Versuchstagen und Meßterminen)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	10,5	9,6	7,0
Menge (mval/h)	0,47	0,46	0,42
(mval/24 h)	11,3	11	10,1

b) Häufigkeiten der verschiedenen Periodikkurven

Kurven- typ	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
1a	1	2	4	5	4	3
1b	4	2	3	1	—	1
2a	7	8	2	5	7	6
2b	5	6	4	2	1	3
3a	3	4	5	8	10	7
3b	4	1	4	3	1	2
Versuchs- tage	24	23	22	24	23	22

c) Mittlere Tagesperiodik (errechnet aus allen Versuchstagen)

(s.S. 49)

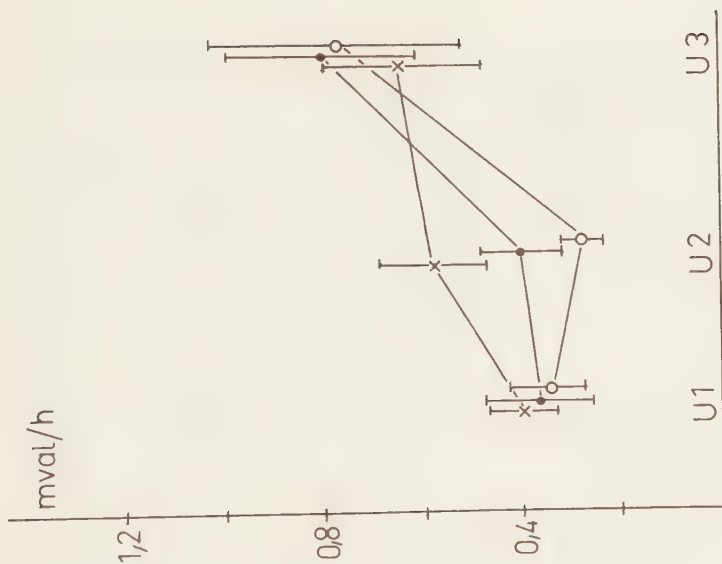


Abb. 12: Mittlere Tagesperiodik der Calcium-Ausscheidung (Menge/Zeit)

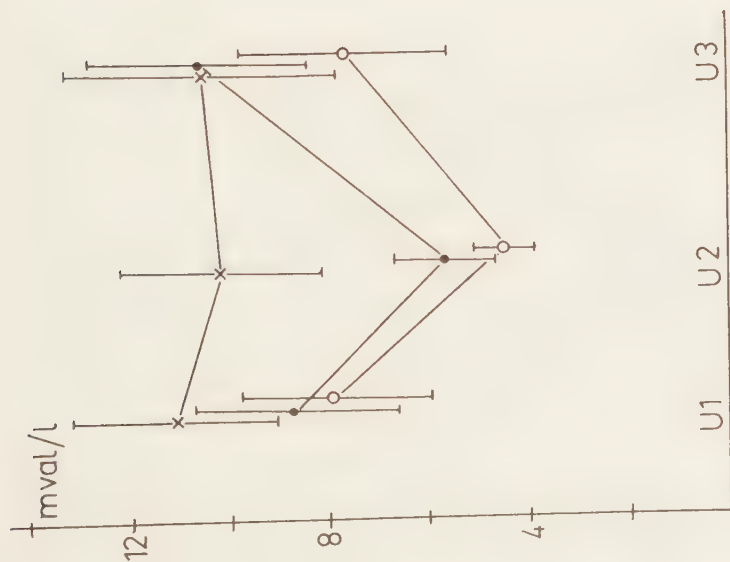


Abb. 11: Mittlere Tagesperiodik der Calcium-Ausscheidung (Konzentration)

- d) Variationskoeffizienten der Standardabweichungen
von Tag zu Tag: (in Prozent)

	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
U1	87	123	120	85	149	114
U2	98	89	73	97	98	71
U3	135	104	135	122	114	143

- e) Amplitude (Schwingungsbreite) der Mittelwertskurve
(s.S.: 35)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	0,9 = 9 %	5,0 = 52 %	3,4 = 49 %
Menge (mval/h)	0,24 = 51 %	0,43 = 94 %	0,49 = 116 %

2.4. Chlor

- a) Tagesmittelwerte (errechnet aus allen Versuchstagen und Meßterminen)

	VP 1	VP 2	VP 3
Konz. (mval/l)	209	240	206
Menge (mval/h)	9,4	11,4	12,4
(mval/24 h)	225	272	298

b) Häufigkeiten der verschiedenen Periodikkurven

Kurven- typ	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
1a	21	16	10	19	17	13
1b	4	6	14	-	1	-
2a	1	1	2	-	-	-
2b	-	-	-	-	-	-
3a	1	2	-	8	8	14
3b	-	1	1	-	-	-
Versuchs- tage	27	26	27	27	26	27

c) Mittlere Tagesperiodik, errechnet aus allen Versuchstagen

(s.S. 52)

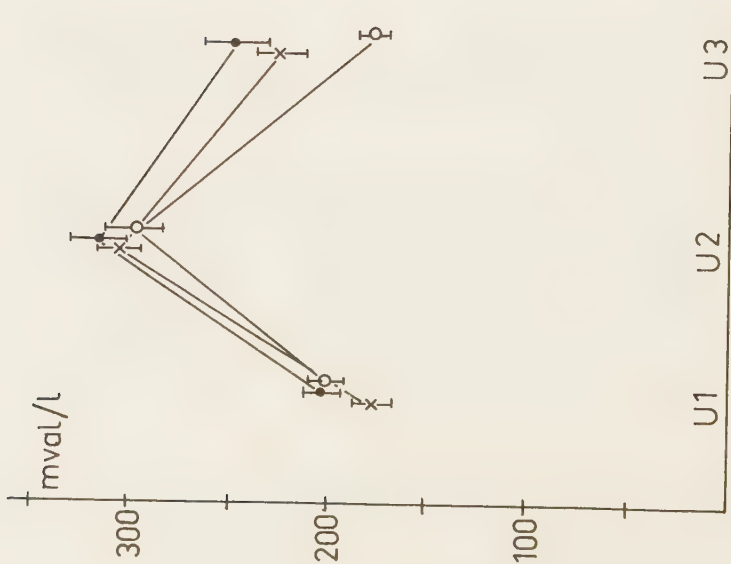


Abb. 13: Mittlere Tagesperiodik der Chlor-
Ausscheidung (Konzentration)

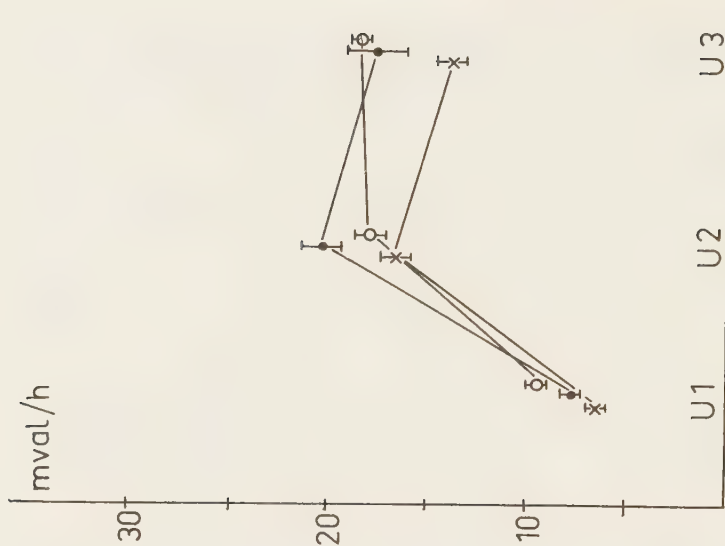


Abb. 14: Mittlere Tagesperiodik der Chlor-
Ausscheidung (Menge/Zeit)

- d) Variationskoeffizienten der Standardabweichungen
von Tag zu Tag: (in Prozent)

	Konz.			Menge		
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 1	VP 2	VP 3
U1	29	24	22	33	36	30
U2	16	26	25	23	31	19
U3	30	29	24	30	47	17

- e) Amplitude (Schwingungsbreite) der Mittelwertskurve
(s.S. 35)

	VP 1		VP 2		VP 3	
Konz. (mval/l)	127	= 61 %	113	= 47 %	121	= 59 %
Menge (mval/h)	10,0	= 107 %	12,6	= 111 %	8,7	= 70 %

3. Übereinstimmung der Versuchspersonen

			Versuchs- tage	Übereinstimmung VP			
				1, 2	2, 3	1, 3	1, 2, 3
<u>Na</u>	Ko	U1	26	11	10	8	5
		U2	26	8	11	10	5
		U3	26	16	12	11	7
	Me	U1	26	9	7	6	2
		U2	26	11	10	10	6
		U3	26	15	9	12	5
<u>K</u>	Ko	U1	23	6	12	8	3
		U2	23	6	5	10	2
		U3	22	10	9	12	5
	Me	U1	23	10	7	8	3
		U2	23	6	8	10	2
		U3	22	10	9	9	4
<u>Ca</u>	Ko	U1	23	9	14	11	6
		U2	23	7	8	11	3
		U3	22	10	11	5	3
	Me	U1	23	9	16	9	7
		U2	23	7	7	10	3
		U3	22	12	9	4	3
<u>Cl</u>	Ko	U1	27	9	13	10	5
		U2	26	5	9	6	2
		U3	26	12	6	9	2
	Me	U1	27	7	12	8	2
		U2	26	6	10	10	3
		U3	26	4	8	10	1

Tab. 1: Übersicht der Anzahl von Tagen mit gleichem Verlauf der Urinkurve (Ko = Konzentration, Me = Menge)

		Versuchs- tage	Übereinstimmung VP				Gesamtzahl
			1,2	2,3	1,3	1,2,3	
<u>Na</u>	Ko	78	35	33	29	17	97
	Me	78	35	26	28	13	84
<u>K</u>	Ko	68	22	26	30	10	78
	Me	68	26	24	27	9	77
<u>Ca</u>	Ko	68	26	33	27	12	86
	Me	68	28	32	23	13	83
<u>Cl</u>	Ko	79	26	28	25	9	79
	Me	79	17	30	28	6	75
Ges .	Ko	293	109	120	111	48	
	Me	293	106	112	106	41	

Tab. 2: Aus Tab. 1 durch Addition:

U1 + U2 + U3 entstanden

Übereinstimmung gemeinsam für alle Elektrolyte:

	VP 1, 2	VP 2, 3	VP 1, 3	VP 1, 2, 3
Konz.	37 %	41 %	38 %	16 %
Menge	36 %	38 %	36 %	14 %

Tab. 3: Entstanden aus Tab. 2 durch Addition der Werte für Na, K, Ca und Cl; Darstellung in Prozent

Aussagekraft der Meßgrößen:

	Na	K	Ca	Cl
Konz.	41 %	38 %	42 %	33 %
Menge	38 %	38 %	41 %	32 %

Tab. 4: Entstanden aus Tab. 2 durch Addition
der Anzahl von Übereinstimmungen von
VP 1, 2, VP 2, 3 und VP 1, 3;
Darstellung in Prozent

4. Klimaeinfluß

Ein erstes Resultat darüber liefert die Gegen-
überstellung der Anzahl paralleler und antiparalleler
Reaktionen mit Hilfe der halbquantitativen Auswert-
methode.

Konzentration					
		Temp.		Feuch.	
		U1	U2	U1	U2
<u>Na</u>					
(26,26)	VP 1	15-11	12- 9	10-10	13- 8
	2	12-11	10- 9	11- 5	8- 7
	3	14-12	10- 8	15-13	9-11
<u>K</u>					
(23,23)	VP 1	9- 7	7- 4	6- 6	8- 3
	2	9-11	5- 7	8-11	4- 8
	3	11-12	9- 6	7-11	8-10
<u>Ca</u>					
(23,23)	VP 1	10- 6	13- 9	12- 7	7-12
	2	10-13	11-10	10-11	13- 9
	3	7-11	13- 7	10-11	12- 8
<u>Cl</u>					
(27,26)	VP 1	15-11	11- 6	14-12	11- 2 ⁺
	2	8-11	7-12	13-11	9-12
	3	6-18 ⁺	5- 6	10-14	6- 4

Tab. 5: Wert vor Bindestrich: Anzahl der parallelen Antworten (p + pap)

Wert nach Bindestrich: Anzahl der anti-parallelen Antworten (ap+pap)

Symbolerklärung: Seite 38

Die Klammerangaben unter den Meßgrößen weisen auf die Zahl der ausgewerteten Versuchstage hin:

1. Wert: Für Meßtermin 1;

2. Wert: Für Meßtermin 2;

Wertepaare, für die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % die Nullhypothese abzulehnen ist (nach Vorzeichentest von Dixon und Mood), sind durch ⁺ gekennzeichnet.

		Menge			
		Temp.		Feuch.	
		U1	U2	U1	U2
$\overset{\text{Na}}{(26,26)}$	VP 1	9- 6	12- 9	8- 9	12- 9
	2	10- 9	12- 9	10- 2 ⁺	12-10
	3	12-13	13- 9	13-12	8-10
$\overset{\text{K}}{(23,23)}$	VP 1	8- 8	7- 7	6- 6	6- 8
	2	8- 9	10- 9	5- 8	10- 9
	3	12-15	9- 9	9-17	7- 8
$\overset{\text{Ca}}{(23,23)}$	VP 1	11- 8	12- 9	8- 7	6-12
	2	10-13	12- 9	10-11	12- 8
	3	7-12	13- 8	7-10	13- 8
$\overset{\text{Cl}}{(27,26)}$	VP 1	11- 9	14- 8	9-11	10-10
	2	5- 9	7- 7	7- 7	6- 7
	3	4-13 ⁺	10-11	4- 9	12- 8

Tab. 6: Siehe Legende von Tab. 5!

Auftrennung der parallelen und antiparallelen
Reaktionen in Warm- und Kalt- bzw. Feucht- und
Trocken-Reize:

		Konzentration			
		Temp.		Feuch.	
		U1	U2	U1	U2
<u>Na</u>	VP 1	4,4-3,1	5,3-3,2	2,2-3,1	4,5-2,2
	2	3,3-1,4	4,2-3,2	4,3-0,1	2,4-2,3
	3	3,3-2,2	5,2-2,3	3,2-2,1	3,3-3,5
<u>K</u>	VP 1	2,3-1,2	4,2-1,2	3,0-1,2	5,2-1,1
	2	1,1-0,4	2,1-3,2	1,0-1,3	1,1-3,3
	3	1,2-2,3	4,2-2,1	1,0-3,2	2,2-4,2
<u>Ca</u>	VP 1	3,4-0,3	5,3-2,2	5,2-1,1	2,1-2,6
	2	2,2-3,4	4,2-3,2	3,1-3,2	5,3-1,3
	3	1,1-3,3	4,3-1,0	2,1-3,1	4,2-1,1
<u>Cl</u>	VP 1	4,3-1,2	4,4-3,0	4,1-1,2	3,7-1,0
	2	1,2-3,3	2,1-5,3	3,2-2,1	3,2-3,5
	3	0,1-7,6	0,2-2,1	2,2-5,3	1,3-1,1

Tab. 7: Trennung in parallele und antiparallele
Reaktionen durch Bindestrich wie in
Tab. 5 und 6.

Aufteilung innerhalb einer Reaktionsart:

Wert vor dem Komma: Anzahl der Warm- bzw.

Feucht-Reize

Wert nach dem Komma: Anzahl der Kalt- bzw.

Trocken-Reize.

		Menge			
		Temp.		Feuch.	
		U1	U2	U1	U2
<u>Na</u>	VP 1	4,3-2,2	5,3-3,2	3,1-4,1	4,4-3,2
	2	3,3-2,3	5,2-3,1	4,4-0,0	3,4-2,3
	3	3,2-3,3	5,3-2,2	3,2-2,2	2,3-3,4
<u>K</u>	VP 1	2,3-1,4	4,2-3,3	3,1-1,3	3,2-3,4
	2	2,2-0,5	2,3-3,1	2,0-1,4	2,3-3,1
	3	2,2-3,4	3,2-3,2	1,0-4,5	2,2-3,2
<u>Ca</u>	VP 1	3,4-0,4	4,3-2,2	3,2-1,3	1,1-2,6
	2	2,2-3,4	5,2-3,1	3,1-3,2	4,3-2,1
	3	1,1-3,4	4,2-1,0	2,0-3,2	4,2-0,1
<u>Cl</u>	VP 1	2,4-2,2	5,4-2,1	1,2-3,2	2,4-4,2
	2	1,2-3,4	3,3-4,2	2,2-2,2	3,3-3,4
	3	0,3-6,6	2,3-5,1	1,2-5,3	3,5-3,1

Tab. 8: Siehe Legende von Tab. 7!

		Konzentration		Menge	
		Temp.	Feuch.	Temp.	Feuch.
Na	24,17-14,14	18,19-12,13	25,16-15,13	19,18-14,12	
K	15,11- 9,14	13,5-13,13	15,14-13,19	13,8-15,19	
Ca	19,15-12,14	21,10-11,14	19,14-12,15	17,9-11,15	
Cl	11,13-21,15	16,17-13,12	13,19-22,16	12,18-20,14	

Tab. 9: Zusammenfassung von Tab. 7 und 8 durch
Addition der Werte aller 3 Versuchspersonen
zu beiden Meßterminen
Erklärung s. Tab. 7!

	warm	kalt	feucht	trocken
Na	48	42	42	42
K	39	39	36	36
Ca	39	39	36	36
Cl	48	45	42	42

Tab. 10: Gesamtzahl der Reize für alle Versuchspersonen zu beiden Meßterminen

Konzentration		Menge	
Temp.	Feuch.	Temp.	Feuch.
Na 50,40-29,33	43,45-29,31	52,38-31,31	45,43-33,29
K 42,31-25,39	36,14-36,36	38,36-33,49	33,21-38,49
Ca 53,42-33,39	58,28-31,39	49,36-31,38	44,23-28,38
Cl 26,31-50,36	38,40-31,29	29,42-49,36	25,38-42,29

Tab. 11: Werte der Tabelle 9, bezogen auf die Gesamtzahl der vorhandenen Reize (Tab. 10) als 100 %

Die folgenden 4 Teilergebnisse entstehen durch qualitative und quantitative Auswertung der Tabelle 11. Es handelt sich stets um den Vergleich zweier Werte, wobei dann der größere Wert und seine Differenz zum kleineren angegeben sind. Werte, die dem gefundenen Endergebnis widersprechen, wurden durch ^o gekennzeichnet (siehe Diskussion!).

Symbolerklärung Seite 38.

- a) Ermittlung der bevorzugten Reaktionsart
(parallel oder antiparallel) nach Klima-
reizen:

	Konzentration				Menge			
	Temp.		Feuch.		Temp.		Feuch.	
	w	k	f	t	w	k	f	t
Na	21 p	7 p ^o	14 p	14 p ^o	21 p	7 p ^o	12 p	14 p ^o
K	17 p	8ap	0 p	22ap	5 p	13ap	5ap ^o	28ap
Ca	20 p	3 p ^o	27 p	11ap	18 p	2ap	16 p	15ap
Cl	24ap	5ap ^o	7 p ^o	11 p	20ap	6 p	17ap	9 p

Tab. 12

Ergebnis:

Element	Reizart	bevorzugte Reaktion	entsprechender Verlauf der Urinkurve
Na	w/f	p	+
	k/t	p	-
K, Ca	w/f	p	+
	k/t	ap	+
Cl	w/f	ap	-
	k/t	p	-

Wilcoxon-Test:

Nullhypothesen:

1. Nach einem Warm- oder Feucht-Reiz und
 2. nach einem Kalt- oder Trocken-Reiz
- erfolgt keine bevorzugte Reizbeantwortung im Sinne eines Anstiegs oder Abfalls der Urinelektrolyte.

Ergebnis:

1. Nullhypothese: wird abgelehnt (zweiseitige Fragestellung, 1 % Niveau).
2. Nullhypothese: wird abgelehnt (einseitige Fragestellung, 5 % Niveau).

b) Ermittlung der bevorzugt beantworteten Reizart (warm oder kalt / feucht oder trocken) innerhalb der parallelen und antiparallelen Antwort:

	Konzentration		Menge	
	Temp.	Feuch.	Temp.	Feuch.
Na	10w - 4k	⁰ 2t - 2t	14w - 0k	2f - 4f ⁰
K	11w - 14k	22f - 0t	2w - 16k	12f - 11t
Ca	11w - 6k	30f - 8t	13w - 7k	21f - 10t
Cl	5k - 14w	2t - 2f	13k - 13w	13t - 13f

Tab. 13

Ergebnis:

Element	Reaktionsart	bevorzugte Reizart	entsprechender Verlauf der Urinkurve
Na	p	w/-	+
	ap	k/-	+
K, Ca	p	w/f	+
	ap	k/t	+
Cl	p	k/t	-
	ap	w/f	-

Wilcoxon-Test:

Nullhypothesen:

3. Ein Anstieg und
 4. ein Abfall der Urinelektrolyte
- ist nicht Folge eines bestimmten Klimareizes.

Ergebnis:

3. Nullhypothese: wird abgelehnt (zweiseitige Fragestellung, 1 % Niveau)
4. Nullhypothese: wird abgelehnt (zweiseitige Fragestellung, 1 % Niveau).

Die Fragestellung von b) erscheint zunächst als direkte Umkehr der Fragestellung a). Es werden jedoch in beiden Fällen verschiedene Wertepaare miteinander verglichen (siehe Diskussion!).

- c) Ermittlung des Urinparameters (Konzentration = K oder Menge = M) mit der größten Aussagekraft:

	Temp.	Feuch.	Konz. : Menge
Na	2M, 2K - 2M, 2K	2M, 2K - 4M, 2K	8:10 = 1 : 1,25
K	4K, 5M - 8M, 10M	3K, 7M - 2M, 13M	7:45 ≈ 1 : 6,5
Ca	4K, 6K - 2K, 1K	14K, 5K - 3K, 1K	36: 0 = 36 : 0
Cl	3M, 11M - 1K, 0	13K, 2K - 11M, 0	16:25 = 1 : 1,5

Tab. 14

Ergebnis:

Element	größere Wertezahl bei
Na	Menge
K	Menge
Ca	Konzentration
Cl	Menge

- d) Ermittlung der Reizqualität (Temperatur = T oder Luftfeuchtigkeit = F) mit dem größeren Einfluß auf die Elektrolytausscheidung:

	Konz.	Menge	Feuch. : Temp.
Na	7T, 5F - 0, 2T	7T, 5F - 2F, 2T	12 : 19 $\approx$ 1 : 1,6
K	6T, 18T - 11F, 3T	5T, 15T - 3F, 0	14 : 47 $\approx$ 1 : 3,5
Ca	5F, 14T - 2T, 0	5T, 13T - 3T, 0	5 : 37 $\approx$ 1 : 7,5
Cl	12F, 9F - 19T, 7T	4T, 4T - 7T, 7T	21 : 48 $\approx$ 1 : 2,5

Ergebnis:

Element	bevorzugt beantwortete Reizqualität
Na	Temperatur
K	Temperatur
Ca	Temperatur
Cl	Temperatur

Die folgende Zusammenstellung gibt das Zahlenmaterial wider, das in der vorangegangenen Auswertung keine Verwendung fand. Zur prozentualen Darstellung, in Tabelle 22 - 24 in Klammern, ist die Gesamtzahl der Versuchstage notwendig, die sich errechnet aus:

$$(\text{Tage U1} + \text{Tage U2}) \cdot 3 [\text{VF}] \cdot 2 [\text{Temp./Feuch.}]$$

Gesamtzahl der Versuchstage:

Na	K	Ca	Cl	gesamt
312	276	276	318	1182

Tab. 16

a) Nach Reiz keine Reaktion:

	Na	K	Ca	Cl	gesamt
Konz.	35 (11)	49 (18)	31 (11)	52 (16)	167 (14)
Menge	35 (11)	29 (11)	36 (13)	39 (12)	139 (12)

Tab. 17

b) Reaktion ohne Reiz:

	Na	K	Ca	Cl	gesamt
Konz.	85 (27)	87 (32)	66 (24)	90 (28)	328 (28)
Menge	92 (29)	84 (30)	66 (24)	108 (34)	350 (30)

Tab. 18

c) Zusammenfassung a) + b):

	Na	K	Ca	Cl	gesamt
Konz.	120 (38)	136 (49)	97 (35)	142 (45)	495 (42)
Menge	127 (41)	113 (41)	102 (37)	147 (46)	489 (41)

Tab. 19

F. DISKUSSION

1. ZUR METHODIK

1.1. Versuchsbedingungen

Die Durchführung des Versuches erschien aufgrund der ungewöhnlichen Versuchsbedingungen nicht unproblematisch. Drei Versuchspersonen hielten sich verhältnismäßig lange Zeit in einem kleinen Raum auf und waren weitgehend von der Außenwelt abgetrennt. Selbst die optische Verbindung ins Freie und damit zum Wetterablauf war unterbrochen, was aber wegen einer guten Simulation von Fenstern nicht als störend empfunden wurde. Inwieweit es gelang, Umwelteinflüsse auszuschalten, läßt sich hier nicht beurteilen.

Wie zu den Versuchsleitern und Betreuern vom Institut, war das Verhältnis der Versuchspersonen untereinander außerordentlich gut. Ernste Meinungsverschiedenheiten traten wider Erwarten nicht auf. Einer dem Versuch gegenüber ablehnenden Haltung verfiel keine der Versuchspersonen, obwohl die Gefahr der Klaustrophobie durchaus gegeben war. Das gemeinsame Bestreben, den Versuch bis zu Ende durchzuführen, war verbunden mit einem persönlichen Interesse sich ungewöhnlichen Bedingungen längere Zeit zu unterwerfen. Eine größere psychische Belastung wurde vor allem während der ersten Versuchstage empfunden, als nicht die Möglichkeit bestand, den Zeitraum der folgenden 4 Wochen zu überschauen. Nahezu die gesamte Zeit des Tages wurde von Messungen

und Mahlzeiten beansprucht; so stand nur wenig, nicht zusammenhängende Freizeit (nie länger als 1/2 Stunde) zur Verfügung. Dem Vorteil, ein Versuchstag erscheine sehr kurz (nach Angaben der Versuchspersonen war für sie teilweise "der Tag noch vor Beginn des 3. Turns schon vorbei") stand die Erfahrung entgegen, daß die knapp bemessene Freizeit gerade in den beiden letzten Wochen keine entsprechende Ruhe und Ablenkung ermöglichte.

Die auftretenden Klimareize wirkten im allgemeinen weder unangenehm, noch störend. Lediglich nach einigen ausgeprägten Reizen (Tag 17 und 25), die jedoch noch nicht als belastend empfunden wurden, gingen die Versuchspersonen nicht ungerne in den Bioklimaraum zurück.

Nach Beendigung des Versuchs konnte die vorher vorhandene physische Leistungsfähigkeit (trotz Ergometrie während des Versuchs) erst innerhalb etwa 2 Wochen wieder erworben werden. Es machte sich weniger eine Reduzierung der muskulären Kraft, als eine Verminderung der Belastbarkeit des Herz- und Kreislaufsystems, z.B. beim Treppensteigen und Laufen, bemerkbar.

Im Vergleich zu anderen am Menschen durchgeführten Untersuchungen erscheint die Anzahl der Versuchstage sehr groß. Sie steht jedoch in relativem Zusammenhang mit der Anzahl und Qualität der Klimaänderungen. Für biologische Zwecke ist es notwendig, gleiche Versuchsbedingungen mehrmals zu wiederholen, um gegebenenfalls einen Effekt mit Hilfe seiner Reproduzierbarkeit zu sichern

Aus diesem

Gesichtspunkt muß die Versuchsdauer als zu kurz beurteilt werden. Inwieweit es aber möglich ist, Versuchspersonen einem noch längeren Klimakammeraufenthalt zu unterwerfen, sei hier nicht diskutiert.

Fehlermöglichkeiten infolge unterschiedlicher Länge der Urinsammelintervalle sind weitgehend durch Beschränkung auf Vergleiche von Werten ausschließlich gleicher Meßtermine eliminiert worden (s.S. 37). Lange Intervalle bewirken aus 2 Gründen zusätzlich einen relativ größeren Fehler: Zum einen ist die Gefahr der Beeinflussung durch andere Parameter erhöht; zum anderen erhält man den Mittelwert aus einer vom Klimareiz beeinflussten und einer uneinflussten Ausscheidungsphase. Das führt soweit, daß die Peaks, je nach Versuchsanordnung, um mehrere Stunden verschoben werden (4)⁺. So können unsere Untersuchungen nur bedingt einem Vergleich mit denen anderer Autoren Stand halten.

1.2. Analytische Methodik

1.2.1. Flammenphotometrie

Äußere physikalische Faktoren können die Ergebnisse flammenanalytischer Untersuchungen erheblich verfälschen. So werden Verunreinigungen der Raumluft und der Brenngase die Richtigkeit von Meßwerten beeinträchtigen. Nicht nur die Substanzkonzentration, sondern auch Dichte, Oberflächenspannung, Viskosität, Dampfdruck der Analysenlösung, sowie eine veränderte Flammenhöhe (anderer Meßort in der Flamme) beeinflussen indirekt die Intensität der Emissionsstrahlung.

Ein Filter sollte im Idealfall nur die zu messende Linie oder Bande durchlassen. Der Umfang, in dem andere Wellenlängen passieren (Querempfindlichkeit) ist ein Maß für den dadurch auftretenden systematischen Fehler. Z.B. kann eine hohe Natrium-Konzentration durch eine Durchlässigkeit im Bereich der Kalium-Linie bei Anwesenheit von Kalium vorge-täuscht werden.

Wegen ihres edelgasartigen Aufbaues besitzen besonders die Ionen der Alkalimetalle einen sehr stabilen Zustand: Die Energien in der Flamme reichen dann häufig nicht aus, die Atome anzuregen und damit der Messung zugänglich zu machen. Der Ionisationsgrad ist der Flammentemperatur direkt und der absoluten Substanzkonzentration umgekehrt proportional. Die Anzahl von Natrium-Ionen läßt sich z.B. durch Zugabe größerer Kalium-Mengen vermindern, weil, nach dem Massenwirkungsgesetz, im Überschuß vorhandene Elektronen die Ionisation zurückdrängen. Da bei unseren Untersuchungen primär ionisierte Elemente vorliegen, dürfte dieser Mechanismus einen bedeutenden Anteil am Gesamtfehler haben.

Metalloxide, -hydroxide und stabile Salzverbindungen, die durch gegenseitige Beeinflussung in der Flamme entstehen, können sich bei hohen Temperaturen, falls diese erreicht werden, wieder trennen. Die Anregungsbedingungen solcher Umwandlungsprodukte sind jedoch ungünstiger, sodaß Ergebnisse quantitativer Art zu niedrig ausfallen.

Die Eichkurven zeigen im allgemeinen neben einem linearen Anteil zwei steigungsärmere Abschnitte, eine im Bereich niedriger und eine im Bereich hoher

Konzentrationen. Im ersten Fall ist eine Konzentrationsverminderung infolge vermehrter Ionisation verantwortlich zu machen, während im zweiten Fall eine besonders in den Außenschichten der Flamme verstärkt stattfindende Reabsorption und Reemission eintritt. Der Einfluß wechselnder Begleitelementkonzentrationen läßt sich durch Aufstellen eigener Eichkurven für verschiedene Konzentrationen eliminieren.

Ebenso wie die spezifische Strahlung eines zu untersuchenden Elements durch die erwähnten Störfaktoren beeinflusst wird, so beeinflussen die gleichen Faktoren in ähnlicher Weise und in noch größerem Umfang die immer vorhandene Eigenstrahlung der Flamme. Die Eigenstrahlung, oder der Flammenuntergrund, "besteht aus Molekülbanden mit einem darunterliegenden Kontinuum". Infolgedessen wird bei Messungen immer ein Teil des Untergrundes miterfaßt. Zusätzlich erhöht die große Inkonstanz dieser Strahlung den auftretenden Fehler.

Für zufällige Fehler liegt, nach Angaben aus der Literatur, bei Messungen in genügendem Abstand von den Nachweisgrenzen die Standardabweichung zwischen $\pm 0,2 \%$ und $\pm 5 \%$ (20)⁺.

1.2.2. Röntgenfluoreszenzanalyse

Urinuntersuchungen mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden bis jetzt nicht beschrieben. Dagegen sind Ergebnisse über Serumanalysen bekannt. Man findet in der Literatur Aufzeichnungen neben den biologisch wichtigen Elektrolyten (39, 40)⁺ auch über seltener vorkommende Elemente wie Phosphor, Schwefel, Jod, Brom und Eisen (37)⁺.

Die Kongruenz mit den nach herkömmlicher Methode ermittelten Werten, bei Kalium mit Flammenphotometrie und bei Calcium mit dem Clark-Collip-Test, beurteilt Natelson (39)⁺ als sehr gut. Beitz hat bei grundlegenden Arbeiten eine Analysengenauigkeit von 0,1 - 3 % für Kalium und Calcium und von 2 - 4 % für Natrium erreicht (6)⁺.

Der ermittelte Meßwert ist eine Impulszahl pro Zeiteinheit. Die aufgefangenen Röntgenquanten entstehen durch Elektronensprünge, die zeitlich statistisch verteilt sind. Folglich kann das Ergebnis (Intensität) nur mit einer gewissen statistisch bedingten Unsicherheit erfaßt werden, die die Poisson'sche Verteilungskurve näher beschreibt. Der Mittelwert einer n-fachen Bestimmung derselben Probe käme dem "wahren Wert" beliebig nahe (53)⁺.

Gefundene Intensitäten sind lediglich in weiteren Grenzen unabhängig von der chemischen Bindung des Elements und der Zusammensetzung des Materials. Eine Wechselwirkung mit anderen Elementen ist auf zwei Arten möglich:

1. Eine stark absorbierende Substanz schwächt die Ausgangsstrahlung, sodaß die resultierende Fluoreszenz kleiner wird: Konzentrationswert ist zu niedrig.
2. "Ein Begleitelement, dessen eigene Fluoreszenzstrahlung energiereicher ist als die Absorptionskante eines anderen Elements, vermag das andere Element zusätzlich anzuregen". Die Fluoreszenzintensität wird größer: Konzentrationswert ist zu hoch (37)⁺.

Der Fehler vergrößert sich mit zunehmender Zahl der Begleitelemente. Die Sekundär- oder Interelementanregung (Fall 2) kann klein gehalten werden, wenn die Anregungsenergie nur knapp über der Absorptionskante des untersuchten Elements liegt (41)⁺. Beide Effekte - auch Matrixeffekt bezeichnet - erlangen besondere Bedeutung bei Änderung der Probenzusammensetzung während einer Versuchsreihe. Beispiel: Beeinflussung der Serum-Calcium-Werte durch Protein-Schwefel (31)⁺.

Mit Hilfe von Standardproben wird die Impulsrate in Konzentrationen übergeführt. Dabei besteht zwischen beiden Parametern kein linearer Zusammenhang. Es existiert aber eine hinreichende Linearität, wenn innerhalb kleiner Konzentrationsbereiche gemessen wird (53)⁺.

Umwelteinflüsse sind bei Messungen im Vakuum zu vernachlässigen. Bei unseren Untersuchungen mußten Rauschimpulse (= Untergrund, Messung von Wasser) bestimmt und von allen Signalimpulsen subtrahiert werden. Die Grenzkonzentration, d.h. die niedrigste bestimmbare Konzentration eines Elements, ist durch ein bestimmtes Signal-Rausch-Verhältnis festgelegt. Unterhalb dieser Grenze können die ermittelten Ergebnisse nicht anerkannt werden (53)⁺. Dies trat bei den Kalium- und Calcium-Bestimmungen ab Versuchstag 26 auf. Als Ursache kommt jedoch mit ausreichender Sicherheit nicht eine zu geringe Substanzkonzentration in Frage.

Die Messungen wurden mit 2 verschiedenen Proben-trägern durchgeführt. Beim Vergleich dieser Proben-träger fanden sich für Kalium und Chlor keine systematischen Unterschiede. Für Calcium ergab sich jedoch in einen Fall ein bis zu 50 % zu hoher und im anderen Fall ein bis zu 50 % zu niedriger Wert, wobei der Mittelwert aus den Messungen mit beiden Proben-trägern als Berechnungsgrundlage diente (24)⁺. Möglicherweise läßt sich deshalb der Nachweis einer Ca-Tagesperiodik nicht antreten (s.S. 48 f, 80 f).

Die Reproduzierbarkeit unserer Ergebnisse betrug für Kalium und Calcium ± 3 % und für Chlor ± 2 %.

Die praktischen Vorteile der Röntgenfluoreszenzanalyse liegen neben verhältnismäßig kurzen Meßzeiten in einem geringen Arbeitsaufwand, der sich im wesentlichen auf die Eichung des Geräts und die Eingabe der Proben beschränkt. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Meßdaten direkt auf Lochstreifen zu dokumentieren.

Unsere Analysen wurden jedoch mehrmals für längere Zeit unterbrochen, da das Gerät wegen verschiedener Defekte ausfiel.

1.3. Auswertung

In der vorliegenden Auswertung sind die Reizqualitäten Luftfeuchtigkeit und Temperatur völlig isoliert voneinander betrachtet. Der Grund dafür ergibt sich aus dem Verlauf der entsprechenden Kurven, die eine große Anzahl sowohl qualitativ als auch quantitativ unterschiedliche Reizkombinationen enthalten. Eine eindeutige Zuordnung einer bestimmten

Feuchtigkeits-Temperatur Kombination zu einem Urinwert erscheint deshalb nicht möglich. Die Luftfeuchtigkeits- und Temperaturänderungen könnten sich dahingehend beeinflussen, daß ihre Wirkungen auf den Organismus

1. gleichsinnig sind, und sich somit verstärken,
2. gegensinnig und gleich groß sind, sodaß sie sich gegenseitig auslöschen,
3. gegensinnig und verschieden groß sind, sodaß der Effekt des einen Parameters den des anderen übertrifft,
4. daß die Wirkung nur von einer Reizqualität bestimmt wird, während die andere keinen Effekt aufweist.

Das Auftreten einer dieser 4 Möglichkeiten wäre mit einem speziell auf diese Fragestellung gerichteten Versuch zu lösen, dessen Klimareize durch einen variablen und einen konstanten Parameter gekennzeichnet sind. Auch gleiche, sich mehrfach wiederholende Kombinationen mit einem dazwischenliegenden reizfreien Intervall führten zu signifikanten Ergebnissen, die sich dann im Falle eines tatsächlich vorhandenen Einflusses auf physiologische Größen durch ihre Reproduzierbarkeit bestätigen ließen. Da Versuche dieser Art im Institut für Med. Balneologie und Klimatologie nur in mindestens einjährigem Abstand durchgeführt werden können, galt es, einen Kompromiß zwischen größtmöglicher Information und streng zielgerichteten Versuchsbedingungen zu finden.

Die Annahme, ein Klimareiz wirke sich nur auf die Werte des nachfolgenden Meßtermins aus, (s.S. 34) ist zwar von allen am Versuch Beteiligten geteilt, aber nicht objektiv bestätigt worden. Sie hat gedanklich zur Folge, daß die Meßgrößen bis zum Ende

des jeweiligen Sammelintervalls wieder ihren in Abhängigkeit vom Tagesrhythmus stehenden Normalwert erreichten. Die Reize trafen - im Idealfall - den Organismus in einer stets gleichen Ausgangssituation, sodaß für alle Meßdaten hinreichend ähnliche Voraussetzungen bestünden. Es muß in Erwägung gezogen werden, daß längerdauernde Einflüsse über den nächsten Sammeltermin hinaus existieren könnten und so die Ergebnisse der darauffolgenden Sammelperiode beeinflussen. Sollte das zutreffen, wäre die hier durchgeführte Auswertungsmethode unzureichend.

Ein entscheidender Einwand gegen eine nach Meßterminen getrennte Auswertung existiert nicht. Der Vorteil besteht in der Elimination jeglicher Tagesperiodik. Darin sind neben einer endogenen Periodik auch exogene Einflüsse (z.B. Mahlzeiten) enthalten. Die ungleiche Länge der Sammelintervalle würde bei anderer Darstellung zusätzlich einen systematischen Fehler hervorrufen.

Die halbquantitative Darstellung verwendet stets den Wert desselben Meßtermins am vorausgegangenen Tag als Bezugsgröße (s.S.37). Dadurch werden eventuell auftretende Trends eliminiert. Bei diesem Vorgehen ergeben sich zusätzlich grössere Differenzen, als in Relation zu einem Mittelwert. Somit fällt die Richtungserkennung einer Änderung leichter. In weiteren Grenzen entspricht diese Auswertungsart der psychologischen Wetterbeurteilung, die primär eine Änderung des vorausgehenden Zustandes und nicht die Abweichung von einem Basiswert registriert. Die Größenordnungen der Werte sind hier weitgehend vernachlässigt.

Jedoch zieht ein z.B. aufgrund eines groben Meßfehlers entstandener falscher Konzentrationswert gleichzeitig 2 unrichtige Differenzendarstellungen nach sich.

Alternativ zur durchgeführten Methode bietet sich - wie schon erwähnt - der Vergleich mit einer konstanten Bezugsgröße an. Die Definition dieses Normalwertes kann in verschiedener Weise erfolgen. Es stehen die Mittelwerte aller Meßergebnisse, der Meßergebnisse der jeweiligen Termine oder die der reizfreien ersten Tage zur Diskussion. Insgesamt entsprechen die Vorteile der einen Auswertmethode den Nachteilen der anderen und umgekehrt.

Eine halbquantitative Darstellung unterschlägt die absolute Größe der ermittelten Werte. Darunter leidet der Informationsgehalt der Ergebnisse, jedoch wird die Übersichtlichkeit erhöht. Diese Maßnahme ist da sinnvoll, wo noch keine vorausgehenden Untersuchungen einen Effekt, der genauer analysiert werden soll, vermutet oder bestätigt haben. Somit erlangt diese Darstellung den Charakter einer Suchmethode.

Die Einführung eines 30 %-Bereiches der Amplitude (15 % nach oben, 15 % nach unten) für gleichbleibende Werte (s.S. 39) hatte zwei Gründe. In der Auswertung sind zum einen systematische und zufällige Fehler, zum anderen die biologische Streuung zu berücksichtigen. Die Größenordnung ergab sich rein empirisch und ist so als günstig erachtet worden; nur markante Änderungen sollten zum Ausdruck

kommen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt etwa zu gleichen Teilen ansteigende (+), abfallende (-) und gleichbleibende Werte (=). Eine geeignete Wahl der Schranken ist für die Aussagekraft der Ergebnisse von großer Bedeutung. Der Autor hofft, dieser Forderung damit so gut wie möglich nachgekommen zu sein.

Bei gleichartigen aufeinanderfolgenden Klima-
reizen wurde nach einem besonderen Schema verfahren
(s.S. 39), das eine Ausnahmeregelung der auf Seite
aufgeführten Tabelle darstellt. Der zugrunde liegende
Gedanke besteht in dem Bestreben, einen manifesten
Klimareiz auch als solchen zu beurteilen, ihn also
für die Auswertung als Reiz zu erhalten. Ein da-
durch auftretender Fehler wäre für das Endergebnis
nicht sehr bedeutend, weil dieser Sonderfall nur we-
nige Male auftritt.

Der Vorzeichentest von Dixon und Mood, sowie
der Wilcoxon-Test (s.S. 39f), erreichen eine Sicher-
heit von 95 % dafür, daß die Nullhypothese fehlender
Klimaeinflüsse verworfen werden kann. Folglich ist
ihr Ergebnis aussagekräftig. Die Bestätigung eines
Effekts in unserem Versuch auf diesem Signifikanz-
niveau wäre ein hervorragendes Resultat, das jedoch
wegen vielfacher Fehlermöglichkeiten nicht unbedingt
erwartet werden darf. So würde schon die Sicherung
von Ergebnissen mit geringerer Wahrscheinlichkeit,
d.h. das Erkennen bestimmter möglicher Tendenzen,
einen Fortschritt bedeuten.

2. ZU DEN ERGEBNISSEN

2.1. Tagesperiodik

2.1.1. Tagesmittelwerte

Der Vergleich der gefundenen Tagesmittelwerte mit den Durchschnittswerten der wissenschaftlichen Tabellen (10)⁺ ergibt folgendes:

1. Die durchschnittlichen Wasserausscheidungen von 1,050 l von VP 1, 1,150 l von VP 2 und 1,450 l von VP 3 liegen innerhalb des Normbereiches.
2. Na-Ausscheidung VP 3 an oberer Grenze des Normbereiches, VP 1 um 75 % und VP 2 um 35 % über oberer Normgrenze.
3. K-Ausscheidung: Im Normbereich.
4. Ca-Ausscheidung: Im Normbereich, nahe dem Mittelwert.
5. Cl-Ausscheidung: VP 1 im oberen Normbereich, VP 2 um 20 % und VP 3 um 35 % über oberer Normgrenze.

Diese offensichtliche, bei allen 3 VPs erhöhte NaCl-Ausscheidung läßt aufgrund der bekannten langen Versuchsdauer wohl auf eine erhöhte Salzzufuhr mit der Nahrung schließen.

2.1.2. Existenz einer Tagesperiodik

Unsere Versuchsergebnisse zeigen eine signifikante Tagesperiodik der Na-, K-, und Cl-Ausscheidungen im Urin (s.S. 42f, 45f, und 51f) sowohl für die Konzentration, als auch für die Mengen/Zeit. Eine über das Auszählen der Kurventypen und die

Bestimmung der Mittelwertskurve hinausgehende Bestätigung erbringt das gleichartige Verhalten aller 3 VPs (in etwa paralleler Kurvenverlauf). Allerdings weist VP 3 nur geringe Differenzen der ausgeschiedenen Mengen in U2 und U3 auf. Nach Abb. 8, 10, 14 ist zu vermuten, daß dies zum Teil auf eine gegenüber den anderen VPs verminderte Maximalausscheidung aufgrund eines niedrigeren Gesamtumsatzes der Elektrolyte zurückzuführen ist (30)⁺. Des weiteren kommt es, unter Berücksichtigung der erwähnten Ausnahme, beim Vergleich verschiedener Meßtermine (U1 mit U2 und U2 mit U3) zu keiner Überlappung der Bereiche mittlerer Fehler der Mittelwerte. Damit sind diese Mittelwerte eindeutig voneinander unterschieden, was das Vorhandensein einer Tagesperiodik beweist. Unser Ergebnis bestätigt damit die Arbeiten anderer Untersuchungsgruppen (9, 25, 36, 57)⁺ und ergänzt sie dahingehend, daß eine Tagesperiodik nicht nur für die ausgeschiedenen Mengen, sondern auch für die Konzentrationen der Elektrolyte Na, K und Cl zu beobachten ist.

Im Gegensatz zu Untersuchungen von Wisser (57)⁺ und Min (36)⁺ ist in unserem Versuch keine eindeutige Tagesrhythmik der Ca-Ausscheidung nachweisbar. Obwohl bei allen VPs in etwa ähnliche Mittelwertskurven auftreten (Abb. 11, 12), ist die Existenz einer Periodik aus folgenden Gründen abzulehnen:

1. Die Schwankungen der Meßwerte von Tag zu Tag und innerhalb eines Meßtermins sind im Vergleich zu den übrigen Elektrolyten sehr groß (Variationskoeffizienten bis zu 150 %).

2. Es tritt keiner der 6 Periodiktypen deutlich bevorzugt auf.
3. Die Bereiche mittlerer Fehler derselben VP überschneiden sich beim Vergleich verschiedener Meßtermine, sodaß die Form der Periodikkurve nicht mit ausreichender Sicherheit festgelegt ist.

Zudem differiert die Form der Periodikkurve erheblich mit den Ergebnissen anderer Untersucher (s. Abb. 3).

Aus den, auch für Ca geltenden, gleichartigen Verläufen der Mittelwertskurven von Konzentration und Menge kann auf die Existenz einer Tagesrhythmik der Wasserausscheidung geschlossen werden, die auch in der einschlägigen Literatur beschrieben ist (27, 57)⁺, hier aber nicht näher untersucht wurde.

2.1.3. Standardabweichung und Amplitude

Die Beurteilung der Variationskoeffizienten bzw. der Standardabweichungen von Tag zu Tag führen, bei allen VPs übereinstimmend, zu der Rangfolge Cl - K - Na, wobei Cl die niedrigste und Na die höchste Standardabweichung zeigt. Insgesamt liegen sie um das 2-4-fache höher als in dem nur 5 Tage dauernden Versuch von Wissner (57)⁺. Lavernhe (27)⁺, der keine Anionenuntersuchungen durchführte, wies auf den Vorteil der K-Ausscheidung (niedrigste Standardabweichung) als einer zur Erfassung einer Tagesperiodik und ihrer Änderungen besonders geeigneten Meßgröße hin. Aufgrund unserer Ergebnisse können wir das gleiche für die Cl-Ausscheidung feststellen.

Für Na, K, Ca und mit Einschränkung auch für Cl fand sich die größte Standardabweichung zum 3. Meßtermin. Der noch anhaltende Einfluß des Mittagessens mag hier verantwortlich sein, obwohl eine aus anderen Gründen mögliche Inkonstanz der "Nachmittagskurve" zu diskutieren ist. Einen Anhaltspunkt dafür geben von verschiedenen Untersuchern gefundene verschiedene Maximazeiten (s. Abb. 1, 2, 3) bei sonst übereinstimmenden Minimaangaben und einer auch in konstanten, kürzeren Intervallen erfolgten Nahrungsaufnahme.

Ein Vorteil der Mengenuntersuchungen liegt in einer um etwa 20 - 60 % vergrößerten intradiurnen Schwingungsbreite oder Amplitude (s.S. 44, 47, 50 und 53) gegenüber der Konzentration, was die Empfindlichkeit der Methode verbessert. Andererseits treten damit auch Störeffekte stärker in Erscheinung. Unsere Ergebnisse stehen mit den Literaturangaben (27, 36)⁺ dahingehend in Widerspruch, daß wir nicht für K, sondern für Na die größten Amplituden fanden.

2.2. Übereinstimmung der Versuchspersonen

Eine gleichartige Reaktion mehrerer VPs ist bereits mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit aufgrund der zufälligen Verteilung von 3 Reaktionsmöglichkeiten zu erwarten. Diese Wahrscheinlichkeit errechnet sich für die Übereinstimmung von 3 VPs zu 11 % und von 2 VPs zu 33 %. Unsere Ergebnisse liegen

für alle Elektrolyte nur geringfügig darüber (s.S. 55) wonach ein bestimmter Klimareiz im allgemeinen zu unterschiedlichen Reaktionen bei verschiedenen Personen zu führen scheint. Demzufolge steht eine individuell verschiedenartige Reaktionsfähigkeit im Vordergrund. Diese muß jedoch nicht die Tendenz zu einer gleichartigen Klimawirkung auf den Organismus ausschließen, sie läßt sie aber, falls vorhanden, nur schwach in Erscheinung treten. Das ist möglich, weil neben einer individuell unterschiedlichen Ausscheidungsrate und deren unterschiedlicher Schwan-
kungsbreite es sich bei einem Klimareiz um ein komplexes biologischer Reaktionsgeschehen handelt, das nicht in jedem Fall, sondern nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einen Effekt sichtbar werden läßt (s. auch S. 86).

Für Cl sind die wenigsten und für K, Na und Ca einheitlich die meisten Übereinstimmungen gefunden worden. Jedoch liegen alle Elektrolyte in dieser Hinsicht sehr eng beieinander und nur unwesentlich (Cl überhaupt nicht) über der bei einer zufälligen Verteilung zu erwartenden Übereinstimmungsrate von 33 %. So kann keiner dieser Meßgrößen eine überzeugende Aussagekraft in Bezug auf eine gute Übereinstimmung der VP's zuerkannt werden.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß, im Gegensatz zu den bei der Tagesperiodik genannten gleichartigen Reaktionen, die hier erläuterten Übereinstimmungen sich auf die halbquantitative Darstellung, d.h. auf die Differenzen gegenüber dem Vortag beziehen (s.S. 37).

2.3. Klimaeinfluß

Nach Tabelle 5 und 6 läßt eine einfache Gegenüberstellung der parallelen und antiparallelen Antworten keine Aussage über den Einfluß klimatischer Reize auf die Elektrolytausscheidung zu. Die Annahme einer willkürlichen Verteilung beider Reaktionsarten beruht auf folgenden Gesichtspunkten:

1. Es tritt keine der Reaktionsarten bevorzugt auf.
2. Die Differenzen zwischen jeweiliger paralleler und antiparalleler Antwort sind im allgemeinen gering.
3. Die Nullhypothese wird nach dem Vorzeichentest von Dixon und Mood mit Ausnahme von 4 Fällen (= 4 %) nicht abgelehnt.

Eine Aufspaltung der Wertepaare in Warm- und Kalt- bzw. Feucht- und Trocken-Reize versprach eindeutiger und umfangreichere Informationen. Dazu wurden diejenigen Tage, an denen kein Reiz und keine Reaktion vorlag, die also Elemente sowohl der parallelen als auch der antiparallelen Antwort sind, nicht weiter berücksichtigt. Um aus den verbleibenden Werten zuverlässige Aussagen zu erhalten, sind diese Wertepaare zusammengefaßt und auf die Gesamtzahl der vorhandenen Reize bezogen worden. Dies war notwendig, weil auch hier keine offensichtliche Systematik im Zahlengut zu erkennen war, und zudem mit Abnahme der Fallzahl der relative Fehler zunimmt.

Das Ergebnis einer nach Reizarten getrennten Auswertung (Tab. 7 - 13) läßt folgenden Zusammenhang erkennen:

Klimareize in Form von kurzfristigen Luftfeuchtigkeits- und Temperaturänderungen üben eine gleichsinnig biotrope Wirkung auf die Elektrolytausscheidung im Urin aus. Es kommt zu einem Anstieg der Konzentrationen und Mengen der Na-, K- und Ca-Ionen, und einem Abfall bei Cl-Ionen.

In graphischer Darstellung:

Häufigkeit
der Reize:



Häufigkeit
der Reak-
tionen von

Abb. 15: Schematische Gegenüberstellung von Klima-
reizen und darauffolgenden Reaktionen:
Zunahme (+) und Abnahme (-) der Elektrolyt-
konzentration und -menge; Art der Reaktion:
parallel () oder
antiparallel (). Die Balkenlängen
geben die entsprechenden Verhältnisse nicht
streng ergebnisgetreu wider. Das Ergebnis
der Tabelle 12 entspricht der Beobachtungs-
richtung Reiz-Reaktion, das Ergebnis der
Tabelle 13 der Richtung Reaktion-Reiz.

Wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist, bedeutet die Aussage "Anstieg der Ausscheidung nach Warm-Reizen" nicht eine Zunahme der Elektrolytausscheidung nach jedem Warm-Reiz, sondern lediglich, daß nach einer bestimmten Anzahl von Warm-Reizen häufiger eine Zunahme als eine Abnahme zu beobachten ist (vergl. z.B. (7)⁺).

Der statistischen Sicherung mit Hilfe des Wilcoxon-Tests lag zur Aufstellung der Nullhypothese die Annahme eines gleichsinnigen Verhaltens von Na, K und Ca und eines gegensinnigen Verhaltens von Cl zugrunde.

Eine isolierte Beurteilung der Natrium-Werte würde die oben erwähnte Systematik nicht bestätigen. Hier kann vielmehr eine bevorzugt parallele Reaktion nach allen Reizen angenommen werden. Allerdings darf man davon ausgehen, daß der Natriumhaushalt vermehrten Einflüssen und Schwankungen (z.B. durch unterschiedliche Nahrungsaufnahme) unterworfen ist, so daß die möglichen Fehlerquellen größer sind und somit Natrium sich als ungeeigneter Meßgröße erweist. Zahlreiche Untersuchungen bestätigen dies (25, 27, 34, 35)⁺. Die Einbeziehung in das Gesamtschema scheint dennoch gerechtfertigt, weil bei umgekehrter Fragestellung eine den anderen Kationen ähnliche Reaktion erfolgt (s. Tab. 13) und der Wilcoxon-Test das Gesamtergebnis auch unter Hinzunahme der Natrium-Werte sichert. Darüberhinaus fällt grundsätzlich bei allen "Fehlwerten" (=Werte, die der angenommenen Systematik widersprechen) mit Ausnahme zweier Natrium-Werte auf, daß die Anzahl der falschen Reaktionen nur wenig höher ist, als die der zu erwartenden Reaktionen.

Das Ergebnis bestätigt die Beobachtungen früherer Untersuchungen (5, 52)⁺, in denen eine gleichsinnig biotrope Wirkung auf verschiedene Körperfunktionen nach gegensätzlichen Wetterreizen gefunden wurde. Ob es sich bei unseren Untersuchungen auch um eine primär parasympathische Erregbarkeitssteigerung handelt, läßt sich nicht beweisen, da die Regulationsvorgänge der Elektrolytausscheidung zum einen ein sehr komplexer Vorgang und zum anderen noch nicht endgültig geklärt sind (s.S. 4 ff). Nach Straube (61)⁺ ist bei derartigen Aussagen Zurückhaltung erforderlich, weil Ergebnisse durch Beurteilung des Gesamtzustandes des vegetativen Nervensystems anstatt getrennter Beobachtung beider Systeme fehlgedeutet werden könnten. Ein Angriffspunkt für den Einfluß auf die Natrium-, Kalium- und im Gefolge Chlorid-Ausscheidung ließe sich im Reglersystem Hypothalamus - Hypophysenvorderlappen - Nebennierenrinde vermuten. Beweise für Änderungen bei Wetterstörungen konnte Zimmermann durch Bestimmung der 17-Ketosteroide erbringen (54)⁺.

Im Widerspruch zu den Ergebnissen bei den Kationen scheint das gegensätzliche Verhalten der Chlorid-Exkretion zu stehen. Es wäre vielmehr zu erwarten, daß eine vermehrte Natrium- und Kalium-Ausscheidung auch mit einer Zunahme der Chlorid-Ausscheidung einherginge. Eine Erklärung dafür läßt das vorhandene Zahlenmaterial nicht zu, es bleibt lediglich anzunehmen, daß das Defizit an Anionen durch vermehrte Ausscheidung von Phosphat, Sulfat oder Bicarbonat seinen Ausgleich findet (13)⁺. Mit dem Wasser- und Elektrolythaushalt am engsten verbunden ist das Bicarbonat-Ion, dessen Ausscheidungszunahme einen Verlust alkalischer Äquivalente

bedeutet. Als Ursache dafür kommt ein erniedrigtes Blut-pH in Betracht. Somit existierte eine Verbindung zum Säure-Basen-Haushalt, den bereits Stanbury (49)⁺ als steuernden Faktor für die Tagesperiodik der Elektrolytausscheidung verantwortlich machte. Es wäre eine Aufgabe zukünftiger Klimakammerversuche, diese Vermutung durch Bestimmung des Urin-Bicarbonat und -pH weiter zu untersuchen.

Die Tatsache, daß die Konzentration ein Parameter mit geringerer Aussagekraft über einen Klimaeinfluß als die ausgeschiedene Menge ist, läßt sich aufgrund folgender Überlegung erwarten: Die Konzentration ist eine Funktion sowohl der Substratmenge als auch des Flüssigkeitsvolumens, das hier vielfältigen Einflüssen unterliegt, wie z.B. der Flüssigkeitsaufnahme und der Schweißabsonderung. In anderen Forschungsarbeiten wird demzufolge ausschließlich über Mengenuntersuchungen berichtet (9, 25, 27, 36, 57)⁺. Das eindeutig umgekehrte Verhalten der Calciumionen-Ausscheidung läßt den Schluß zu, daß Klimareize den Calcium- und Wasserhaushalt sowohl qualitativ als auch in bestimmten Grenzen quantitativ bevorzugt gegensinnig verändern. Wegen der verschiedenartigen Regulationssysteme ist jedoch eine direkte gegenseitige Beeinflussung abzulehnen.

Die Temperatur erweist sich einheitlich als wesentlich intensiverer Reiz, als die Luftfeuchtigkeit, obwohl beide Parameter streng genommen nicht vergleichbar sind, da sie in verschiedenen Dimensionen gemessen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich die Luftfeuchtigkeit lediglich im Bereich von 63 % bis 88 % änderte. Die subjektive Wärmeempfindung, die einen Anhaltspunkt für objektiv zu erfassende physiologische Änderungen darstellt,

hängt von der herrschenden Luftfeuchtigkeit ab, was z.T. darauf beruht, daß die Wasserverdampfung von Haut und Schleimhäuten gesetzmäßig eine Funktion des äußeren Wasserdampfdrucks ist. Darüberhinaus wird - aus unbekannter Ursache - selbst bei völliger Schweißverdampfung ein feuchter Tag wärmer empfunden, als ein trockener Tag (13)⁺. Im physiologischen Bereich sind die Toleranzgrenzen der Temperatur von der Luftfeuchtigkeit abhängig. Allgemein gilt, daß die Belastbarkeit des Körpers bei einer bestimmten Temperatur umgekehrt proportional zur herrschenden Feuchtigkeit ist (26)⁺. Somit kann angenommen werden, daß die Luftfeuchtigkeit eher ein die Wirkungen der Temperatur unterstützender oder modulierender Faktor ist.

G. Z U S A M M E N F A S S U N G

1. 3 Versuchspersonen hielten sich 28 1/2 Tage in einem gleichmäßig klimatisierten Raum auf (Bioklimaraum) und wurden morgens und abends je einem einstündigen Klimareiz (Änderung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit) ausgesetzt.
2. Die dreimal täglich gemessenen Ausscheidungen der Elektrolyte Na, K, Ca und Cl im Urin (Konzentration und Menge) dienten als Meßgrößen.
3. Für die Na-, K- und Cl-Ausscheidung ließ sich eine eindeutig definierte Tagesrhythmik übereinstimmend bei allen Versuchspersonen nachweisen; bei Ca fanden wir keinen Anhalt für die Existenz einer Tagesperiodik.
4. Eine vorwiegend gleichartige Reaktion der Versuchspersonen im Sinne einer gleichgerichteten Veränderung eines Meßwertes gegenüber dem des Vortags ist nicht zu beobachten.
5. Nach einem Klimareiz reagiert der Organismus, unabhängig von der Art des Klimareizes, bevorzugt mit einem Anstieg der Meßwerte von Na, K und Ca und einem Abfall der Cl-Werte (gleichsinnig biotrope Wirkung).

ANHANG 1: Reizklima (s.S. 28)



Abb. A1: Temperaturreize während des Versuchs

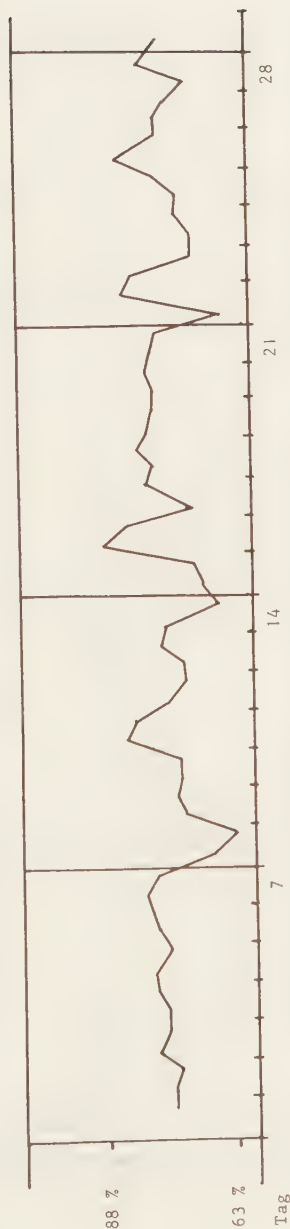


Abb. A2: Luftfeuchtigkeitsreize während des Versuchs

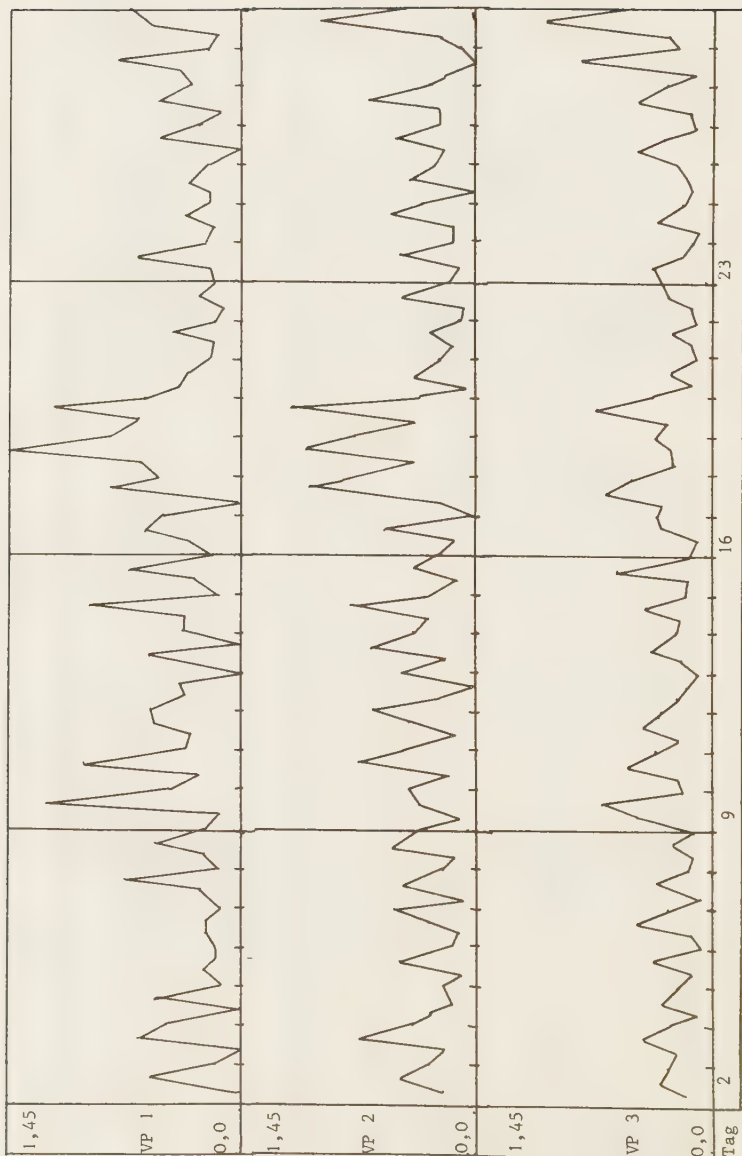


Abb. A3: Natrium-Konzentration (val/l)

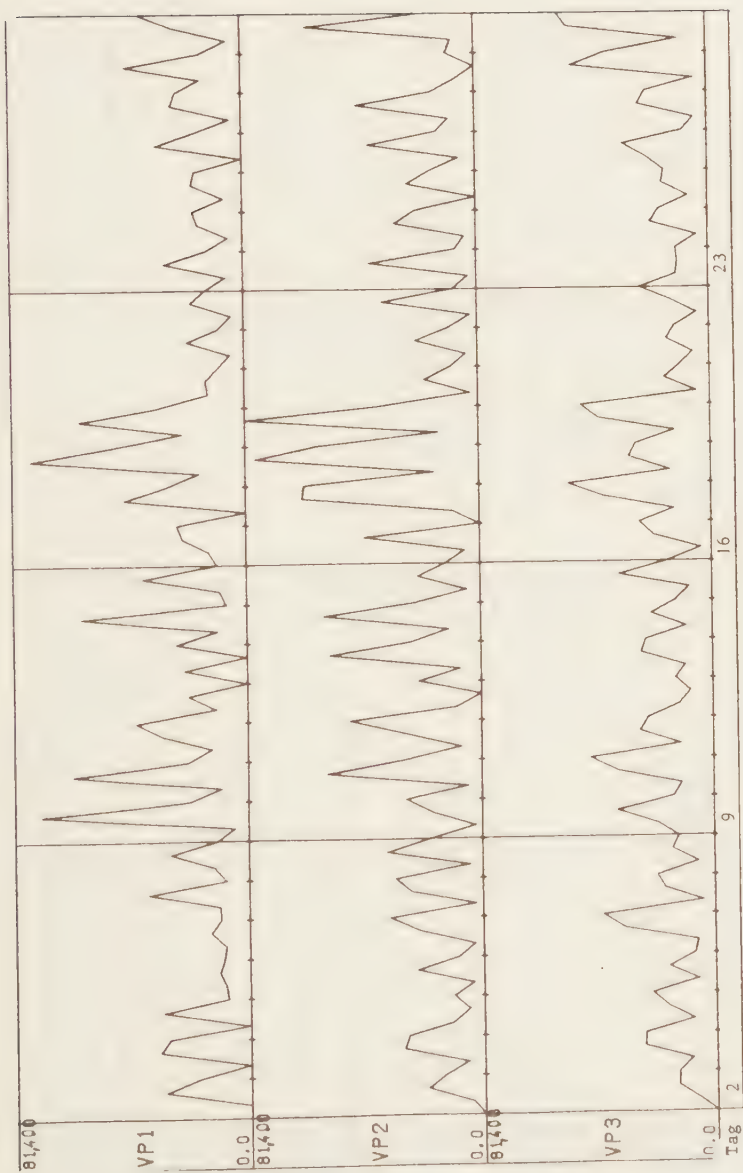


Abb. A4: Natrium-Menge/Stunde (mval/h)

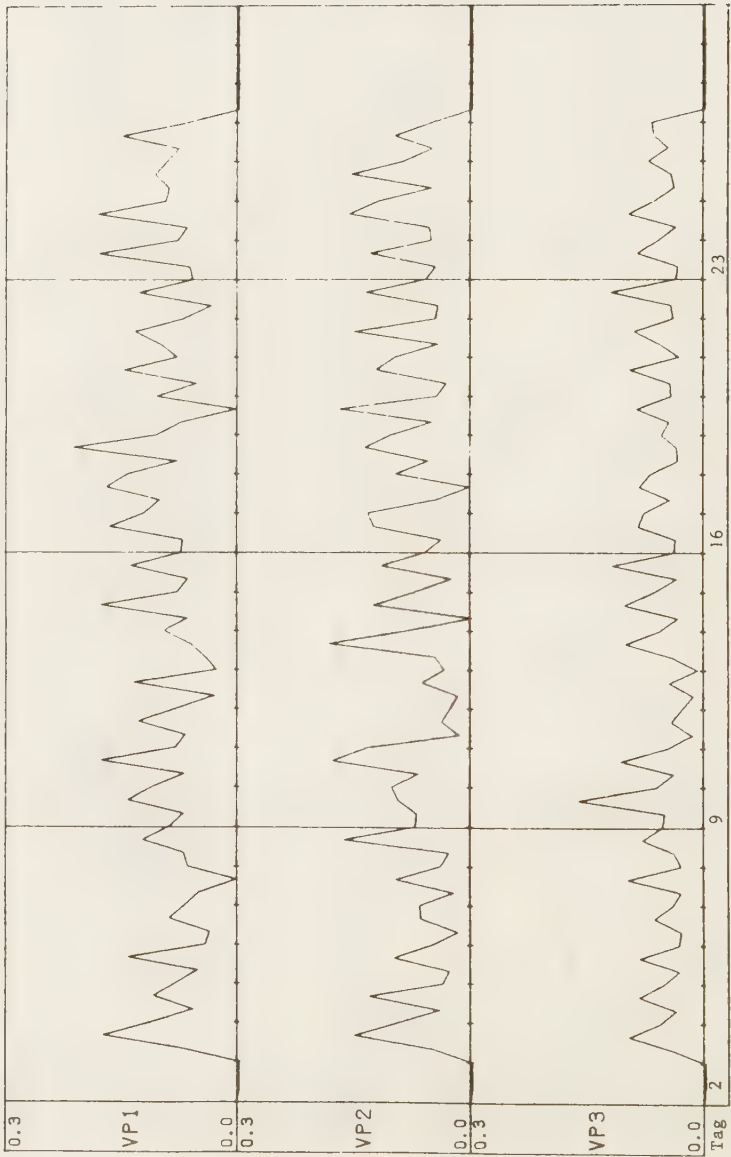


Abb. A5: Kalium-Konzentration (val/l)

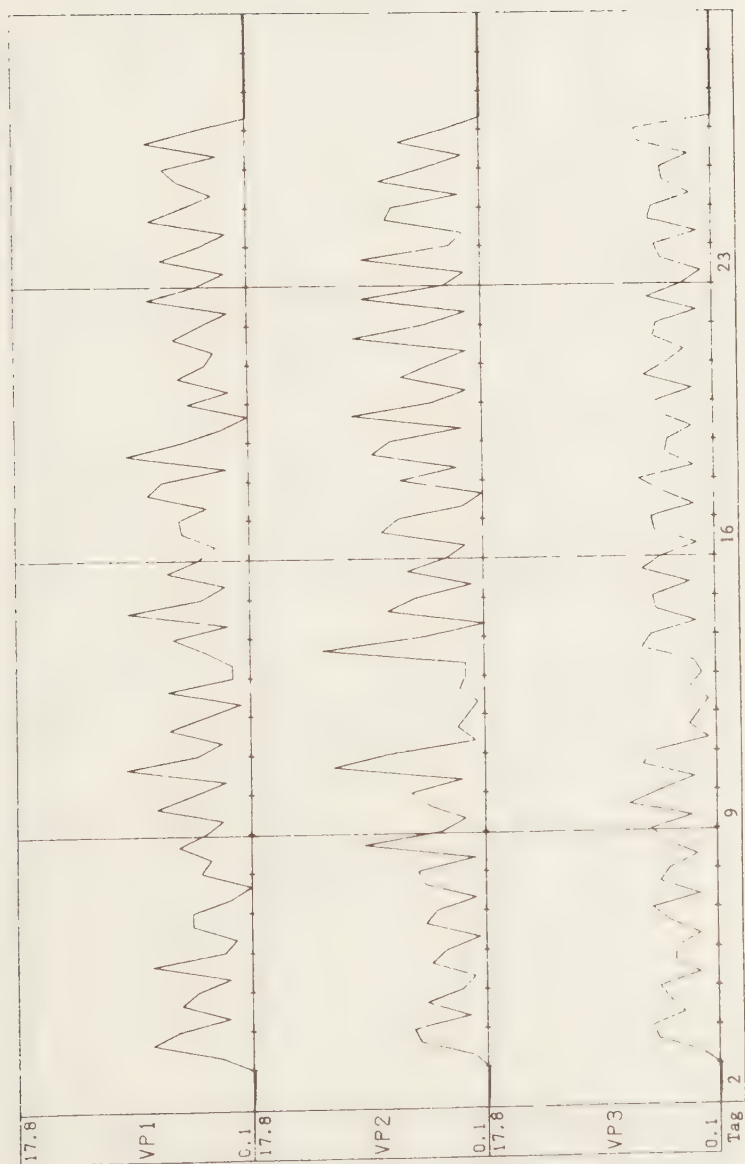


Abb. A6: Kalium-Menge/Stunde (mval/h)

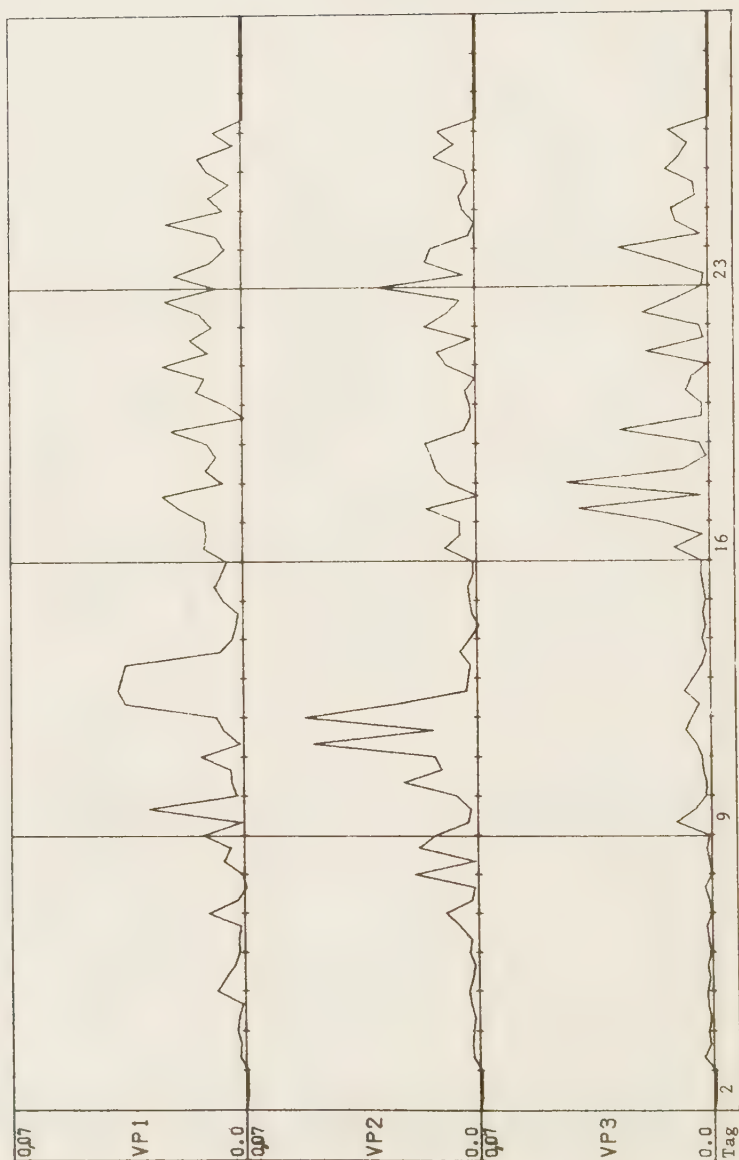


Abb. A7: Calcium-Konzentration (val/l)



Abb. A8: Calcium-Menge/Stunde (mval/h)

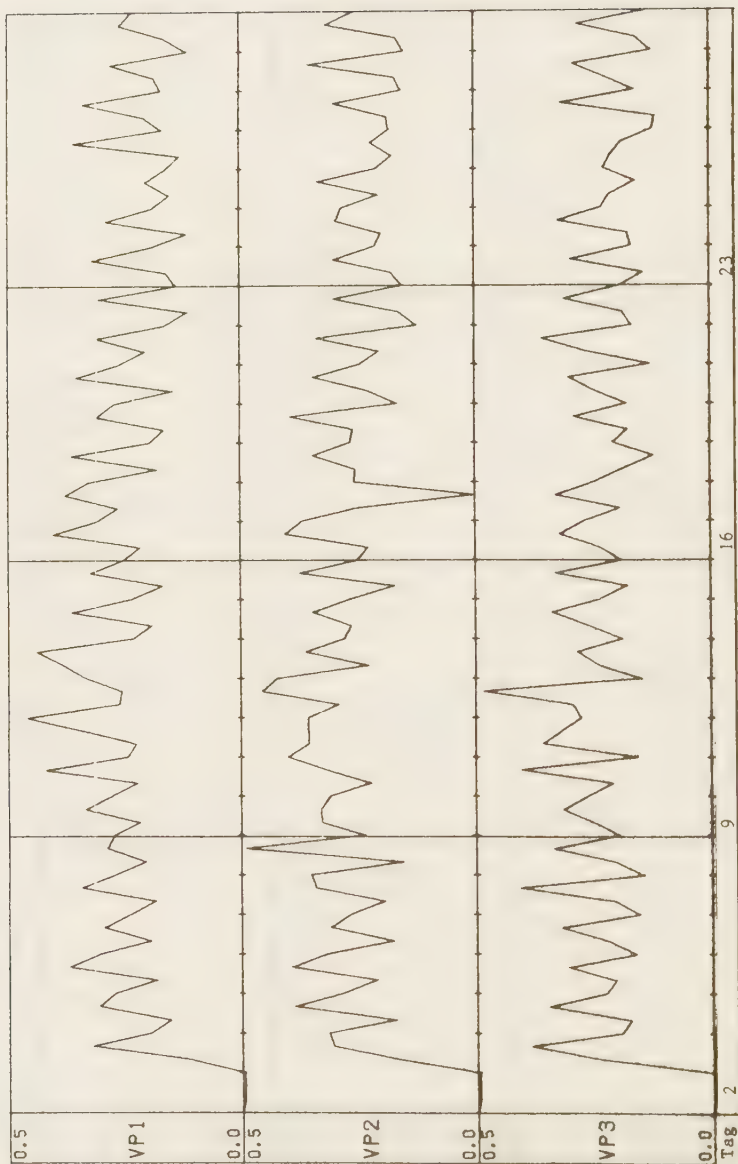


Abb. A9: Chlor-Konzentration (val/h)

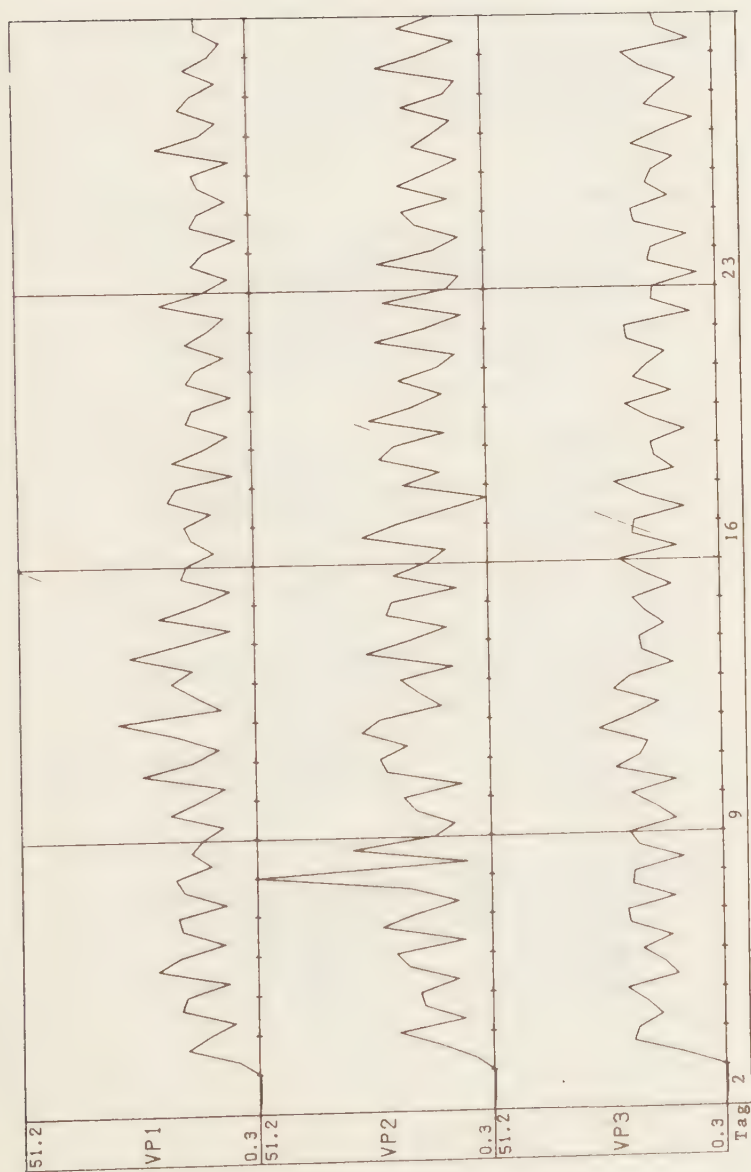


Abb. A10: Chlor-Menge/Stunde (mval/h)

H. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- (1) ASCHOFF J.:
Circadian rhythms in man
Science, 148, (1965), S. 1427
- (2) ASCHOFF J.:
Desynchronization and resynchronization
of human circadian rhythms
Agard Conference Proceedings, No 25,
Behavioral Problems in Aerospace Me-
dicine, London, Technical Editions and
Reproduktion, (1967), S. 1
- (3) BAHLMANN J. et al.:
The effect on urinary sodium excretion of
blood volume expansion without changing
the composition of blood in the dog
Clinical Science, 32, (1967), S. 403
- (4) BARTTER F.C. et al.:
A map of blood and urinary changes related
to circadian variation in adrenal cortical
function in normal subjects
Annals of the New York Academy of Science, 98,
(1962), S. 969
- (5) BECKER F. et al.:
Experimentelle Beiträge über die Beziehung
zwischen neuzeitlicher Bioklimatik und
Medizin
Ärztliche Forschung, (1949), S. 436

- (6) BEITZ L.:
Die Röntgenfluoreszenzanalyse leichter
Elemente im Blutserum
G-I-T Fachzeitschrift für das Labora-
torium, 5, (1973).

- (7) BETZ L.:
Über den Meteorotropismus des menschi-
chen Blutdrucks unter besonderer Berück-
sichtigung der Hypertonien
Inaugural-Dissertation, Frankfurt, 1948

- (8) BRISCOE A.M., PAGAN C.:
Diurnal variation in calcium and magnesium
excretion in man
Metabolism, 15, (1966), S. 1002

- (9) BUCHSBAUM M., HARRIS E.K.:
Diurnal variation in serum and urine elec-
trolytes
Journal of Applied Physiology, 30 (1971),
S. 27

- (10) DOCUMENTA GEIGY:
Wissenschaftliche Tabellen, 7. Auflage, 1968

- (11) EARLEY L.E., FRIEDLER R.M.:
The effects of combined renal vasodilatation
and pressor agents on renal hemodynamics and
the tubular reabsorption of sodium
Journal of Clinical Investigation, 45,
(1966), S. 542.

- (12) FUCHS E.:
Analysieren mit Röntgen- und
Elektronenstrahlen
Bild der Wissenschaft, 8, (1973),
S. 893 dva

- (13) GANONG W.F.:
Medizinische Physiologie
1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 1971

- (14) GAYDON A.G. WOLFHARD H.G.:
Flames, their structure, radiation
and temperature
London, 1953

- (15) GOLDMAN R.:
Studies in clinical variation of water
and electrolytes: nocturnal diuresis
of water and sodium in congestive fai-
lure, cirrhosis of the liver and dege-
nerative glomerulonephritis
Journal of Clinical Investigation, 30,
(1951), S. 1191

- (16) GOWENLOCK A.H. et al.:
Acute postual changes in aldosteron
and electrolyte excretion in man
Journal of Physiology, 146, (1959),
S. 133

- (17) HALBERG F.:
Temporal coordination in physiologic
function
(Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol. 25,
(1960), S. 289

- (18) HEATON F.W., HODGKINSON A.:
External factors affecting diurnal variation in electrolyte excretion with particular reference to calcium and magnesium
Clinica Chimica Acta, 8, (1963), S. 246
- (19) HELLPACH W.:
Geopsyche
6. Auflage, Stuttgart, 1950
- (20) HERRMANN R.:
Flammenphotometrie
Springer Verlag, Berlin, 1956
- (21) HOLZGREVE H. et al.:
Renale Regulation des Natriumhaushalts
Der Internist, 12, (1971), S. 69
- (22) HORSTER M., THURAU K.:
Micropuncture studies on the filtration rate of single superficial and juxtamedullary glomeruli in the rat kidney
Pflügers Archiv der gesamten Physiologie 301 (1968), S. 162
- (23) IMRIE M.J.:
Circadian variations in renal and adrenal functions: are they connected?
Hormones and the Kidney, London and New York:
Academic Press, 13, (1963), S. 3

- (24) KLEINSCHMIDT J., DIRNAGL K.:
Zur Messung mit dem Röntgenfluoreszenzgerät SRS
In Vorbereitung

- (25) KRIEGER D.T., KRIEGER H.P.:
Circadian patterns of urinary electrolyte excretion in central nervous system disease
Metabolism, 16, (1967), S. 815

- (26) KUTZ H.E.:
Hitzeschäden
Zeitschrift für Tropenmedizin und Parasitologie, 10, (1959), S. 178

- (27) LAVERNHE J.:
Wirkungen der Zeitverschiebung in der Luftfahrt auf das Flugpersonal
Münchener Medizinische Wochenschrift 112, (1970), S. 1746

- (28) LINDHEIMER M.D. et al.:
Evidence, that an acute increase in glomerular filtration has little effect on sodium excretion in dog
Journal of Clinical Investigation, 46, (1967), S. 256

- (29) LOUTIT J.F.:
Diurnal variation in urinary excretion of calcium and strontium
Proceedings of the Royal Society of Medicine, 162, (1965) S. 458

- (30) MANN H.:
Circadian control of sodium and
potassium balance
Pflügers Archiv, 332, (1972), S. R 28
- (31) MATHIES J.C., LUND P.K.:
X-Ray spectroscopy in biology and
medicine
Norelco Rep. 7, (1960), S. 130
- (32) MENZEL W.
Rhythmen im Krankheitsverlauf
Medizinische Klinik, 61, (1966), S. 201
- (33) MERTZ P.P.:
Tagesrhythmische Schwankungen der Nieren-
funktion und einiger endokriner Funktions-
kreise
Deutsche Medizinische Wochenschrift, 89,
(1964), S. 2327
- (34) MILLS J.N., STANBURY S.W.:
Persistant 24 hour renal excretory rhythm
on a 12 hour cycle of activity
Journal of Physiology, 117 (1952), S. 22
- (35) MILLS J.N.:
Human circadian rhythms
Physiological Reviews, 46, (1966), S. 128
- (36) MIN H.K. et al.:
Circadian variations in renal excretion
of magnesium, calcium, phosphorus, sodium
and potassium during frequent feeding and
fasting
Federation proceedings, 25, (1966), S. 917

- (37) MÜLLER R.:
Spektrochemische Analysen mit Röntgen-
fluoreszenz
Oldenbourg-Verlag, München, 1967
- (38) NABARRO J.D.N.:
Modern views on secretion of urine
London, 1956
- (39) NATELSON S.:
X-Ray spectroscopy in the clinical labo-
ratory
Clinical Chemistry, 5, (1959), S. 521
- (40) NATELSON S.:
X-Ray spectroscopy in the clinical labo-
ratory
Clinical Chemistry, 6, (1960), S. 299
- (41) NEFF H.:
Grundlagen und Anwendung der Röntgen-
feinstrukturanalyse
Oldenbourg Verlag, München, 1962
- (42) RECTOR F.C. et al.:
Demonstration of a hormonal inhibitor of
proximal tubular reabsorption during ex-
pansion of extracellular volume with
isotonic saline
Journal of Clinical Investigation, 47,
(1968), S. 761

- (43) REINBERG A., GHATA J.:
Rhythms et cycles biologiques
Presses Univ. de France, Paris, 1957
- (44) RICHTHOFEN:
Friesische Rechtsquellen
Berlin, 1848, S. XL
- (45) SACHS L.:
Statistische Auswertungsmethoden
3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1971
- (46) SELKURT E.E. et al.:
Influence of graded arterial pressure
decrement on renal clearance of creatinine,
p-aminohippurate and sodium
American Journal of Physiology, 159, (1949),
S. 369
- (47) SIEGENTHALER W.:
Klinische Pathophysiologie
2. Auflage, Georg Thieme Verlag,
Stuttgart, 1973
- (48) SIROTA H., BALDWIN D.S.:
Diurnal variations of renal function
in man
Journal of Clinical Investigation, 29,
(1950), S. 187
- (49) STANBURRY S.W., THOMPSON A.E.:
Diurnal variations in electrolyte excretion
Clinical Science, 10, (1951), S. 267

- (50) STOLLREITHER A.:
 Untersuchungen über die Zusammenhänge
 zwischen dem vegetativen Befinden und
 den atmosphärischen Störungen
 Inaugural-Dissertation, München, 1951
- (51) STRAUBE G.:
 Die Erfassung vegetativ-nervöser Reaktions-
 änderungen unter dem Einfluß von Wetter-
 vorgängen
 Archiv für physikalische Therapie, (1951),
 S. 24
- (52) STRAUBE G., SCHOLZ K.H.:
 Über die Einwirkung komplexer Wettervor-
 gänge auf das vegetative Nervensystem
 Deutsche medizinische Wochenschrift (1951),
 S. 634
- (53) THIELE B.:
 Konzentrationsbestimmungen in Mehrstoff-
 systemen, durch Röntgenfluoreszenzanalyse
 Siemens-Zeitschrift, 44, (1970), Heft 12
- (54) UTERS, ZIMMERMANN:
 Die 17-Ketosteroidausscheidung als Anzeichen
 für die Beeinflussung des Organismus durch
 meteorologische Faktoren
 Deutsche medizinische Wochenschrift, (1951),
 S. 1408

- (55) WHITE H. et al.:
The influence of posture on renal activity
American Journal of Physiology, 78,
(1926), S. 185
- (56) WILDER J.:
Das Ausgangswertgesetz, ein unbeachtetes
biologisches Gesetz für Forschung und
Praxis
Zeitschrift für Neurologie, 137, (1931),
S. 317
- (57) WISSER H. et al.:
Tagesperiodik der Ausscheidung von Elek-
trolyten, Katecholaminen und 17-Hydroxy-
corticosteroiden im Harn
Klinische Wochenschrift, 51, (1973), S. 242
- (58) WOODLAND HASTINGS J.:
The biology of circadian rhythms from man
to microorganism
New England Journal of Medicine, 282,
(1970), S. 435

Anmerkung:

Literaturangaben im Text: ()⁺

An dieser Stelle darf ich Herrn Dipl.-Phys.
K. Dirnagl meinen herzlichsten Dank für die
Überlassung des Themas und die Betreuung bei
der Bearbeitung aussprechen.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. H. Drexel
sowie allen Mitarbeitern des Instituts, die
mich bei meiner Arbeit unterstützten, insbeson-
dere auch meinen Studienkollegen, deren Einsatz
sehr zum Gelingen des Versuches beitrug.

LEBENS LAUF

Peter, Rudolf, Heinrich Hebel, geb. 24.4.1950
in München

Eltern: Dr.med. Martin und Liselotte Hebel

Wohnsitz bis November 1958 in München, seitdem
in Freising

1956 - 60 Schüler der jeweiligen Volksschule

1960 - 69 Besuch des math.-nat.wiss. Zweiges
des Josef-Hofmiller-Gymnasiums in
Freising

1969 Abitur

Beginn des Studiums der Medizin im WS 69/70
an der Universität München

Naturwissenschaftliche Vorprüfung im SS 70

Ärztliche Vorprüfung im WS 71/72 abgelegt

Beendigung des Medizinstudiums mit dem Staats-
examen am 8.12.1975

